



TESIS - TI 142307

EVALUASI *TIME BASED MAINTENANCE* (TBM) DALAM RANGKA MENURUNKAN BIAYA *MAINTENANCE*

NISA ISROFI
02411650010001

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Moses Laksono Singgih, M.Sc, M.Reg.Sc, Ph.D, IPU

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN KUALITAS DAN MANUFAKTUR
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

EVALUASI *TIME BASED MAINTENANCE* (TBM) DALAM RANGKA MENURUNKAN BIAYA *MAINTENANCE*

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :
NISA ISROFI
NRP. 02411650010001


Tanggal Ujian : 5 Juni 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :



1. Prof. Ir. Moses Laksono Singgih, M.Sc, M.Reg.Sc, Ph. D, IPU
NIP: 19590817 198703 1002

(Pembimbing)



2. Dr. Ir. Mokh Suef, M.Sc (Eng)
NIP: 19650630 199003 1002

(Penguji 1)



3. Putu Dana Karningsih ST, M.Eng.Sc, Ph.D
NIP: 19740508 199903 2001

(Penguji 2)



Dekan Fakultas Teknologi Industri,

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST., MT.
NIP: 196905071995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nisa Isrofi

NRP : 02411650010001

Program Studi : Magister Teknik Industri – ITS

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

“EVALUASI *TIME BASED MAINTENANCE* (TBM) DALAM RANGKA MENURUNKAN
BIAYA *MAINTENANCE*”

adalah benar- benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-
bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya
sendiri.

Seluruh referensi yang dikutip dan dirujuk telah saya tulis secara lengkap di daftar pustaka.
Apabila dikemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima
sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018
Yang membuat pernyataan,

Nisa Isrofi
02411650010001

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Evaluasi *Time based Maintenance* (TBM) dalam Rangka Menurunkan Biaya *Maintenance*”. Tesis ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik.

Penulis menyadari bahwa tesis ini dapat terselesaikan dengan baik atas bantuan, dukungan, petunjuk, serta bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaiannya. Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan secara khusus ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Moses Laksono Singgih, M.Sc, M.Reg.Sc, Ph.D, IPU selaku Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar dan perhatian memberikan arahan, saran, motivasi, ilmu kepada penulis dalam proses penyusunan tesis ini dan mendengarkan keluhan penulis selama proses penyusunan tesis.
2. Bapak Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng), Ibu Putu Dana Karningsih ST, M.Eng.Sc, Ph.D dan Bapak Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc. selaku dosen penguji atas saran dan masukan yang diberikan di setiap tahap penyusunan tesis ini.
3. Bapak Erwin Widodo, ST, M.Eng. Dr.Eng selaku Ketua Program Pascasarjana Teknik Industri dan seluruh jajaran staf pengajar Departemen Teknik Industri- Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan ilmu berharga selama masa perkuliahan.
4. Orang tuaku tercinta Bapak M. Abdul Wahab, Ibu Anik Mukhlisoh yang telah membesarkan, mendampingi, mendidiku dengan penuh kasih sayang dan segala dukungan & doa yang tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan lancar. Kakakku tersayang Mirza Asrofi yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk segera menyelesaikan pendidikan magister
5. Seluruh Bapak dan Ibu staf administrasi Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan segala urusan administrasi.
6. Bapak Kredo yang telah memberikan kesempatan pada penulis untuk melakukan penelitian dan mengambil data di Perusahaan Sarung Tangan Rajut.
7. Sahabat – sahabat terbaikku Ratna, Rizka, Jili, Dian, Venty, Putri, Sapta yang sudah memberikan persahabatan, tawa, semangat, dan dengan senang hati mendengarkan keluhan dan selalu memberi saran yang membangun selama ini.

8. Sahabat- sahabat tercinta di Surabaya, Mbak Septi, Dina, Sari, Warda, Mbak Yeni yang selalu mendengarkan keluh kesah selama studi, terima kasih sudah memberikan semangat, menemani dan memberikan dukungan ketika penulis merasa down.
9. Serta teman - teman S2 Teknik Industri 2016 Ganjil yang sudah berjuang bersama penulis selama menempuh pendidikan S2.
10. Rekan- rekan perkuliahan di Program Pascasarjana Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dari berbagai angkatan, atas dukungan ilmu, diskusi dan semangat yang diberikan.
11. Semua pihak yang belum disebutkan, terima kasih atas dukungannya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, maka dari itu penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan tesis ini. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi perbaikan penyusunan laporan sejenis di masa yang akan datang.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

EVALUASI *TIME BASED MAINTENANCE* (TBM) DALAM RANGKA MENURUNKAN BIAYA *MAINTENANCE*

Nama : Nisa Isrofi
NRP : 02411650010001
Jurusan : Teknik Industri, FTI, ITS Surabaya
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Moses Laksono Singgih, M.Sc, M.Reg.Sc, Ph.D, IPU

ABSTRAK

Biaya perawatan menyumbang cukup besar pada biaya produksi, hal tersebut menuntut perusahaan untuk memilih strategi perawatan yang tepat. Selain itu, perkembangan teknologi yang cukup pesat menjadikan perawatan lebih mudah dan efektif untuk dilakukan dengan *condition based maintenance* (CBM). Strategi tersebut merupakan tindakan perawatan berdasarkan data kondisi dan historis mesin. Penerapan strategi CBM merupakan suatu alternatif pilihan dalam evaluasi TBM tetapi membutuhkan biaya yang cukup tinggi untuk alat khusus dan juga adanya *monitoring* baik secara *periodic* maupun *continuously*. Apakah investasi mesin untuk CBM menyebabkan penurunan biaya perawatan atau malah sebaliknya penggunaan perawatan tradisional berdasarkan data historis (*Time Based Maintenance*, TBM) membutuhkan biaya yang lebih rendah dibandingkan penerapan strategi CBM.

Objek penelitian ini adalah perusahaan yang bergerak dibidang produksi sarung tangan rajut. Terdapat beberapa proses yang ada termasuk pengrajan, pengobrasan, *dotting* dan pengepakan. Mesin rajut merupakan mesin yang krusial dimana merupakan proses awal dari pembuatan sarung tangan. Beberapa perawatan yang telah dilakukan berupa perawatan *preventive* untuk pemberian oli dan perawatan *corrective* ketika terdapat produk cacat untuk penggantian jarum. Banyaknya sarung tangan rajut yang cacat karena adanya jarum yang patah sehingga mesin rajut tetap memproduksi produk yang cacat. Evaluasi TBM yang diaplikasikan pada mesin rajut untuk mendeteksi produk yang cacat menggunakan kamera webcam dengan membandingkan *image processing* produk yang baik dengan produk yang cacat. Biaya untuk TBM (*existing*) adalah *preventive costs*, *repair cost*, *labor cost* dan *consequences of failure*. Sementara untuk, biaya untuk evaluasi TBM adalah *capital investment and annual cost of condition monitoring*. Penelitian ini akan berfokus pada mesin rajut yang ada di perusahaan dan mengevaluasi TBM dalam rangka menurunkan biaya *maintenance* yang selanjutnya akan dipilih biaya yang lebih murah antara TBM (*Existing*) dengan evaluasi TBM berdasarkan nilai sekarang dengan pertimbangan *economic life* dan *discount rate*.

Kata kunci: *time based maintenance*, pemodelan biaya

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUATION TIME BASED MAINTENANCE (TBM) TO REDUCE MAINTENANCE COST

Name : Nisa Isrofi
NRP : 02411650010001
Majors : Teknik Industri, FTI, ITS Surabaya
Supervisor : Prof. Ir. Moses Laksono Singgih, M.Sc, M.Reg.Sc, Ph.D, IPU

ABSTRACT

Cost of maintenance contribute substantially to production costs, requiring companies to choose appropriate maintenance strategies. In addition, rapid technological developments make maintenance easier and more effective to do with condition based maintenance (CBM). The strategy is a maintenance that measure based on the machine's condition and historical data. Implementation of CBM strategy is an alternative choice in TBM evaluation but it requires high cost for special tools and also monitoring both periodically and continuously. Whether investment of machine for CBM decrease maintenance costs or otherwise the use of time based maintenance (TBM) cheaper than CBM strategy.

The object of this research is a company engaged in the production of knit gloves. There are several existing processes including knitting, hemming, dotting and packing. Knitting machine is a crucial machine which is the initial process of making gloves. Some maintenance have been done in the form of preventive maintenance for giving oil and corrective maintenance when there is a defective product for needle replacement. The number of knitting gloves that are deformed due to the needle is broken so that the knitting machine still produce defective products. Evaluation of TBM applied to knitting machines to detect defective products using webcam cameras by comparing good product image processing with defective products. The costs for TBM (existing) are preventive costs, repair costs, labor costs and consequences of failure. While for, the cost for evaluation of TBM is capital investment and annual cost of condition monitoring. This research will focus on the existing knitting machines in the company and evaluate TBM in order to reduce maintenance costs which will then be chosen cheaper cost between TBM (Existing) and evaluation of TBM based on present value with economic life consideration and discount rate.

Keywords: *time based maintenance, cost modeling*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Konsep Perawatan.....	7
2.2 Konsep <i>Time Based Maintenance</i>	7
2.3 Konsep <i>Condition Based Maintenance</i> (CBM)	7
2.3.1 Definisi <i>Condition Based Maintenance</i> (CBM).....	8
2.3.2 Implementasi <i>Condition Based Maintenance</i>	9
2.3.3 Kurva P-F dan Interval P-F	11
2.3.4 Memaksimalkan Interval P-F Menggunakan Pemeliharaan Berbasis Kondisi .	12
2.4 Perbedaan TBM dan CBM.....	13
2.5 Biaya Perawatan.....	14
2.6 <i>Monitoring Techniques</i>	15
2.6.1. <i>Human Inspection</i>	15
2.6.2. <i>Performance Monitoring</i>	15
2.6.3. <i>Condition Monitoring Techniques</i>	16
2.7 <i>Condition Based Maintenance Modeling</i>	17
2.8 Prosedur untuk mengembangkan dan menjalankan biaya yang efektif kebijakan CBM	18

2.9	<i>Image Processing</i>	18
2.10	<i>Present Worth Analysis</i>	19
2.11	Mesin Rajut	19
2.12	Literature Mengenai Alternatif Evaluasi <i>Time Base Maintenance (TBM)</i>	20
2.13	GAP Penelitian dan Posisi Penelitian	29
BAB 35	METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1.	<i>Literature Review</i>	36
3.2.	Pengumpulan Data	36
3.3.	Implementasi Evaluasi <i>Time based Maintenance</i>	37
3.4.	Evaluasi Biaya TBM untuk Menurunkan Biaya <i>Maintenance</i>	39
3.5.	Analisa dan Interpretasi Hasil	39
3.6.	Kesimpulan dan Saran	40
BAB 41	PEMODELAN BIAYA MAINTENANCE	41
4.1	Pemodelan Biaya	41
4.1.1	Pemodelan Biaya Perawatan	41
4.1.2	Strategi CBM untuk <i>Wind Turbines</i>	41
4.1.3	Biaya Efektif dari Penerapan CBM	44
4.1.4	Pemodelan <i>Cost Benefit Analysis</i>	46
4.1.5	<i>Cost Benefit Analysis</i> untuk <i>Monitoring</i> Kondisi pada <i>Batch Process Plant Machinery</i>	49
4.1.6	<i>Repair Policy</i> dan <i>Preventive Policy</i>	51
4.2	Pengembangan Model Biaya	54
4.3	Pemodelan Biaya TBM dan Evaluasi TBM Sarung Tangan Rajut	57
4.3.1	Gambaran Umum Perusahaan Sarung Tangan Rajut	57
4.3.2	Pemodelan Biaya di Perusahaan Sarung Tangan Rajut	58
BAB 5	EVALUASI TBM PADA PERUSAHAAN SARUNG TANGAN RAJUT (PSTR)	63
5.1	<i>Study</i> Kasus Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR)	63
5.1.1	Perawatan Menggunakan TBM (Keadaan <i>Existing</i>)	63
5.1.2	Pengaplikasian Evaluasi TBM dalam Rangka Menurunkan Biaya <i>Maintenance</i>	66
5.2	Pemodelan Biaya TBM (<i>Existing</i>) dan Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>) di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR)	71
5.3	Pengumpulan Data	76
5.3.1	Rata- Rata Produk Baik	77

5.3.2	Produk cacat	78
5.4	Pengolahan Data	80
5.6.1	Perhitungan Biaya <i>Time Based Maintenance (Existing)</i>	81
5.6.2	Perhitungan Biaya Evaluasi TBM (<i>automatic shutdown</i>)	84
5.5	Perbandingan Biaya Menggunakan TBM dan Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>)	87
5.6	Perbandingan Biaya Produksi TBM dan Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>)	91
5.7	Aspek Perbedaan TBM <i>Existing</i> dan Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>)	93
BAB 6	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	95
6.1.	Analisa Hasil <i>Time Based Maintenance</i> (TBM)	95
6.2.	Analisis Hasil Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>)	95
6.3.	Analisis Hasil Perbandingan TBM dan Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>)	97
BAB 7	KESIMPULAN DAN SARAN	99
7.1.	Kesimpulan	99
7.2.	Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	101

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahap dalam CBM (Jardine et al., 2006)	8
Gambar 2.2 Implementasi proses CBM (Rastegari & Bengtsson, 2015b)	10
Gambar 2.3 Kinerja Komponen Menggunakan Kurva Eksponensial (Moubray, 1997)	11
Gambar 2.4 Interval P-F (Moubray, 1997)	12
Gambar 2.5 CBM (Inspeksi <i>On-Line</i>) (Moubray, 1997)	12
Gambar 2.6 <i>Frequency Of Maintenance</i> (Eti & Probert, 2006)	15
Gambar 2.7 Prosedur Kebijakan Biaya (Al-najjar, 2012).....	18
Gambar 2. 8 Klasifikasi Mesin Rajut (Hartanto, 2013)	20
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian TBM vs Evaluasi TBM	35
Gambar 3.2 <i>Different Approaches To Condition Monitoring</i> (Bengtsson, 2007)	38
Gambar 4. 1 Keseluruhan Biaya Perawatan	54
Gambar 4. 2 Pemetaan Biaya untuk TBM dan Evaluasi TBM.....	55
Gambar 4. 3 Pengembangan TBM dan Evaluasi TBM	56
Gambar 4. 4 Proses Produksi Sarung Tangan Rajut.....	57
Gambar 5. 1Mesin Rajut	64
Gambar 5. 2 MNC 2 (<i>Needle Controler</i>)	67
Gambar 5. 3MEMMINGER-IRO (PULSONIC 4-MEDI) (Plop, 2008)	68
Gambar 5. 4 <i>Hardware</i> yang digunakan untuk sistem inspeksi (<i>Abou-Taleb & Sallam, 2007</i>)...	68
Gambar 5. 5 Kamera webcam.....	69

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan TBM dan CBM	13
Tabel 2.2 Keuntungan dan Kerugian TBM dan CBM	14
Tabel 2.3 Ringkasan Jurnal Referensi	24
Tabel 2.4 GAP Penelitian <i>Condition Based Maintenance</i>	29
Tabel 2. 5 Jurnal Penelitian <i>Knitting Process</i>	32
Tabel 4. 1 Jurnal Pemodelan Biaya.....	52
Tabel 5. 1Jumlah Mesin Perusahaan.....	63
Tabel 5. 2 Alternatif Evaluasi TBM	70
Tabel 5. 3 Perbedaan Biaya TBM dan Pengaplikasian Evaluasi TBM (<i>automatic shutdown</i>)	76
Tabel 5. 4 Total Produk Baik Bulan April 2017- April 2018 (dalam pcs)	77
Tabel 5. 5 Produk Cacat selama Satu Tahun (dalam pcs).....	78
Tabel 5. 6 Keseluruhan Poduksi April 2017- April 2018 (pcs)	79
Tabel 5. 7 Keseluruhan Jarum Patah April 2017 – April 2018.....	80
Tabel 5. 8 Biaya <i>Time Based Maintenance</i>	81
Tabel 5. 9 <i>Failure Consequence</i> Mesin Rajut Selama Satu Tahun Untuk Satu Mesin (TBM)	83
Tabel 5. 10 Biaya TBM untuk Satu Mesin Rajut Selama Satu Tahun untuk 77 mesin rajut	84
Tabel 5. 11 Biaya Investasi Evaluasi TBM	84
Tabel 5. 12 <i>Failure Consequence</i> Mesin Rajut Selama Satu Tahun Untuk Satu Mesin (Evaluasi TBM (<i>automatic shutdown</i>)).....	87
Tabel 5. 13 <i>Total cost annual</i> CM untuk 77 Mesin Rajut Selama Satu Tahun	87
Tabel 5. 14 Analisis Ekonomi untuk TBM dan evaluasi TBM (<i>automatic shutdown</i>) (untuk 77 kamera <i>webcam</i> dan 1 komputer)	88
Tabel 5. 15 Analisis Nilai Sekarang/Unit Baik untuk TBM dan Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>) (untuk 77 kamera <i>webcam</i> dan 1 komputer).....	90
Tabel 5. 16 Total Biaya Produksi TBM dan Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>) (untuk 77 kamera <i>webcam</i> dan 1 komputer) tiap tahun	91
Tabel 5. 17 Analisis Nilai Sekarang/Unit Baik untuk Biaya Produksi di Mesin Rajut Menggunakan TBM dan Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>) (untuk 77 kamera <i>webcam</i> dan 1 komputer).....	92
Tabel 5. 18 Biaya yang didapatkan dari Penerapan Strategi TBM Dan Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>).....	93

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini, tujuan dari diadakannya penelitian dan manfaat yang diharapkan dari diadakannya penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Biaya perawatan menyumbang antara 15-70% dari biaya keseluruhan produksi (Jonge, Teunter, & Tinga, 2017), hal ini berdampak cukup besar dalam pengurangan biaya perusahaan. Biaya perawatan itu termasuk dalam biaya yang digunakan untuk melakukan perawatan secara *preventive* dan juga biaya yang diakibatkan dari kegagalan dari proses produksi akibat dari kerusakan sistem (Gerdes et al., 2016). Karena biaya perawatan yang begitu besar maka sangat penting untuk mengendalikan biaya yang digunakan untuk perawatan.

Perawatan sendiri dibagi menjadi dua yaitu *corrective* dan *preventive maintenance* (Shin & Jun, 2015). Salah satu tujuan utama dari *preventive maintenance* adalah untuk mengurangi kegagalan peralatan. Strategi ini memberikan kontribusi untuk mengurangi biaya kegagalan dan *downtime* mesin (kerugian produksi) dan meningkatkan kualitas produk (Usher et al., 1998).

Preventive maintenance merupakan perawatan yang dilakukan untukantisipasi terjadinya kegagalan, sehingga diharapkan tidak menyebabkan biaya yang lebih untuk kegagalan produksi. Hal tersebut, menuntut perubahan dalam perkembangan strategi yang dipilih perusahaan untuk perawatan menjadi hal yang penting. Salah satunya, pergeseran *preventive maintenance* dari perawatan berbasis waktu (*Time Based Maintenance*, TBM) yang berdasarkan data historis menjadi perawatan berbasis kondisi (*Condition Based Maintenance*, CBM) (Jonge et al., 2017). TBM merupakan keputusan perawatan (misalnya, interval pencegahan perbaikan) yang ditentukan berdasarkan kegagalan sedangkan CBM adalah program perawatan yang merekomendasikan perawatan (keputusan) berdasarkan informasi yang dikumpulkan dari historis dan kondisi berdasarkan proses *monitoring* (Ahmad & Kamaruddin, 2012b).

Penerapan CBM bisa menjadi pilihan yang lebih efisien dari evaluasi TBM karena bisa mendeteksi kegagalan sebelum terjadi, sehingga memungkinkan untuk mencegah biaya yang diakibatkan kegagalan produksi. Tetapi penerapan CBM memerlukan biaya untuk implementasinya karena pembelian alat yang dibuat khusus untuk memantau dan mengumpulkan status produk data secara *real time*. Selain itu, meskipun CBM merupakan cara terbaik untuk menganalisis status produksi, namun pengumpulan data secara terus-menerus menyebabkan biaya yang tinggi (Shin & Jun, 2015). Perusahaan perlu mempertimbangkan biaya

CBM karena menggunakan investasi yang cukup mahal meskipun dapat mencegah terjadinya produk yang cacat.

Objek pengamatan dalam penelitian ini adalah perusahaan yang bergerak dibidang pembuatan sarung tangan. Terdapat beberapa proses yang dilakukan untuk pembuatan sarung tangan, yaitu pengrajan, pengobrasan, *dotting* dan pengepakan. Proses rajut merupakan awal proses pembuatan sarung tangan. Ketika pembuatan sarung tangan mengalami cacat, maka mesin harus dihentikan dan diperbaiki. Salah satu kesalahan tersebut berupa patahnya jarum pada mesin rajut adalah ± 332 biji dan jarum pendek sebesar ± 197 biji dengan total keseluruhan jarum sebanyak ± 529 biji jarum per hari dalam sehari untuk 308 mesin rajut. Beberapa kesalahan yang dapat memutuskan jarum diantaranya berupa getaran yang cukup kuat, kontak antara jarum dan benang yang menghasilkan gesekan sehingga melemahkan kekuatan jarum, *life cycle* umur jarum dan faktor *material* jarum (Rocha & Soares, 2004). Permasalahan jarum patah yang terjadi, menyebabkan adanya produk cacat yang ada pada proses rajut di Perusahaan sarung tangan rajut dan berdampak pada biaya yang diakibatkan oleh *product losses*. Penelitian ini akan mengevaluasi penerapan TBM dalam rangka menurunkan biaya *maintenance* di mesin rajut.

Pada proses pengrajan terdapat 308 mesin otomatis yang bekerja selama 24 jam dengan 3 *shift* pekerja dimana tiap 77 mesin terdapat 4 pekerja. Proses perawatan dalam mesin tersebut berupa perawatan *preventive* untuk membersihkan benang yang ada pada mesin dan pemberian oli yang dilakukan setiap pergantian *shift* dan perawatan *corrective* pergantian jarum yang patah tiap mesin dengan cara melihat hasil rajutan sarung tangan yang cacat. Dari produk yang cacat akan dilakukan proses pergantian jarum yang patah karena adanya produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi. Waktu yang seharusnya bisa memproduksi sarung tangan akan digunakan untuk melakukan pergantian jarum dan memperbaiki cacat. Produk cacat yang dihasilkan akan terbuang sia sia, sehingga akan berpengaruh terhadap *output* yang dihasilkan tiap mesin dimana ketika mesin beroperasi per *shift* menghasilkan 24 sarung tangan, hal tersebut berpengaruh pada biaya akibat kegagalan produksi. Penelitian ini akan berfokus pada 77 mesin rajut yang ada di perusahaan dan membandingkan evaluasi pengembangan biaya untuk perawatan secara TBM (*existing*) dan evaluasi TBM untuk menurunkan biaya *maintenance* karena pada proses rajut merupakan proses pertama yang akan mempengaruhi hasil dari proses selanjutnya apabila produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Banyaknya mesin rajut yang diawasi hanya dengan 4 pekerja menyebabkan beberapa produk cacat terlewat. Sedangkan untuk proses lainnya yaitu obras, *dotting* dan pengepakan menggunakan mesin semiotomatis sehingga memungkinkan untuk pekerja langsung memeriksa hasil produk sehingga produk yang cacat tidak banyak seperti pada proses rajut.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang ada, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah apakah perawatan yang baru dalam rangka penerapan evaluasi TBM lebih murah daripada TBM (*existing*) karena memerlukan investasi peralatan dan biaya tambahan untuk menjalankan dibandingkan TBM (*existing*) yang telah dilakukan saat ini. Mesin rajut digunakan sebagai objek penelitian karena proses tersebut sangat penting dan merupakan awal proses pembuatan sarung tangan yang akan mempengaruhi proses selanjutnya. Beberapa perawatan yang telah dilakukan berupa perawatan *preventive* untuk pemberian oli dan pembersihan benang di mesin rajut menggunakan kompresor dan perawatan *corrective* untuk mengganti jarum ketika terdapat produk cacat.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan umum dalam penelitian yang telah dijelaskan di atas adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui metode pengaplikasian yang sesuai untuk menerapkan evaluasi TBM di mesin rajut Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR).
2. Mengetahui biaya yang digunakan untuk perawatan menggunakan TBM (*existing*) maupun penerapan evaluasi TBM dalam rangka menurunkan biaya *maintenance* di mesin rajut Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR).
3. Membandingkan antara perawatan TBM (*existing*) dan penerapan evaluasi TBM pada mesin rajut di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR) dan memilih biaya yang lebih murah berdasarkan nilai sekarang selama *economic life* mesin yang diinvestasikan dengan mempertimbangkan *discount rate*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari pelaksanaan penelitian ini, beberapa manfaat yang diharapkan dapat dicapai adalah sebagai berikut:

1. Penelitian diharapkan mampu memberikan penambahan ilmu pengetahuan dalam pengembangan konsep TBM dan penerapan evaluasi TBM dalam rangka menurunkan biaya *maintenance*.
2. Dari hasil penelitian diharapkan dapat menambah pengetahuan mengenai kesesuaian dan hambatan yang dihadapi dalam menerapkan evaluasi TBM untuk menurunkan biaya *maintenance* pada perusahaan sehingga didapatkan rancangan strategi yang sesuai dalam menghadapi tantangan tersebut.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian yang ada adalah sebagai berikut:

1. Secara keseluruhan terdapat 4 kelompok kerja dengan 308 mesin rajut yang memiliki spesifikasi dan umur mesin sama. Dalam penelitian ini dipilih satu kelompok kerja dengan 77 mesin rajut.
2. Produk yang tidak bisa ditisik/ diperbaiki dijual kiloan dan harganya murah sehingga tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini diuraikan menjadi beberapa bab sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini diawali dengan latar belakang dilakukannya penelitian mengenai pengembangan biaya perawatan *time based maintenance* (TBM) dan perawatan *condition based maintenance* (CBM), perumusan masalah dari latar belakang pelaksanaan penelitian, manfaat yang diharapkan dari penelitian, tujuan penelitian dan sistematika penulisan

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka berisi mengenai GAP penelitian, posisi penelitian dan kajian pustaka yang didapat dari buku dan jurnal yang terkait mengenai teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan penelitian.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab metodologi penelitian berisi tentang alur penelitian yang digunakan termasuk didalamnya teknik pengumpulan data, metode yang digunakan disesuaikan dengan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

BAB IV Pemodelan Biaya *Maintenance*

Bab pemodelan biaya *maintenance* akan menjelaskan referensi yang digunakan untuk pemodelan biaya. Dan selanjutnya akan ditentukan biaya yang masuk di TBM dan evaluasi TBM yang mengadaptasi strategi CBM disesuaikan dengan referensi dan keadaan di lapangan.

BAB V Evaluasi TBM pada Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR)

Bab ini menjelaskan tentang pengumpulan dan pengolahan data yang digunakan di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR). Setelah melakukan pengamatan dan pengambilan data, langkah selanjutnya adalah pengimplementasian evaluasi TBM, mengolah data untuk kemudian menentukan komponen biaya yang ada baik untuk di

TBM maupun evaluasi TBM sehingga dapat diketahui pemakaian biaya yang terendah antara metode TBM dan evaluasi TBM.

BAB VI Analisis dan Pembahasan

Bab analisis dan pembahasan akan melakukan pembahasan dari hasil pengolahan data yang dilakukan untuk dianalisis dan diuraikan secara sistematis. Analisa yang dilakukan dari pengembangan model biaya perawatan yang dibuat dari perawatan TBM dan evaluasi TBM di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR).

BAB VII Kesimpulan dan Saran

Bab VI ini merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dan saran dari pelaksanaan penelitian dan memberikan saran untuk penelitian yang akan datang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori dan referensi yang menjadi landasan dalam pelaksanaan penelitian ini.

2.1 Konsep Perawatan

Perawatan didefinisikan sebagai semua teknis dan tindakan manajerial yang diambil selama jangka waktu penggunaan untuk mempertahankan atau mengembalikan fungsi yang diperlukan dari mesin atau peralatan (Shin & Jun, 2015). Terdapat 3 klasifikasi perawatan yaitu *breakdown maintenance (corrective maintenance)*, *preventive maintenance* dan *condition based maintenance* (Shin & Jun, 2015).

1. *Corrective maintenance*, tindakan perawatan diambil setelah beberapa masalah seperti *breakdown* dalam produk yang ditemukan.
2. *Preventive maintenance*, tindakan perawatan yang dilakukan secara berkala untuk memeriksa produk dengan interval tertentu untuk mencegah kegagalan.
3. *Condition based maintenance*, CBM mirip untuk pemeliharaan *preventif* dalam arti bahwa tujuannya adalah untuk mencegah cacat produk berdasarkan kondisi peralatan sebelum cacat terjadi.

2.2 Konsep Time Based Maintenance

Time Based Maintenance (TBM) adalah keputusan perawatan yang ditentukan berdasarkan analisis kegagalan. TBM dilakukan dengan analisis data kegagalan yang bertujuan secara statistik untuk menyelidiki karakteristik kegagalan peralatan berdasarkan pada data kegagalan waktu yang dikumpulkan (Ahmad & Kamaruddin, 2012b). Kerugian dari *time based maintenance* yaitu beberapa item yang seharusnya masih dalam keadaan baik tetapi harus diganti (Jardine, K.S. et al., 2013).

2.3 Konsep Condition Based Maintenance (CBM)

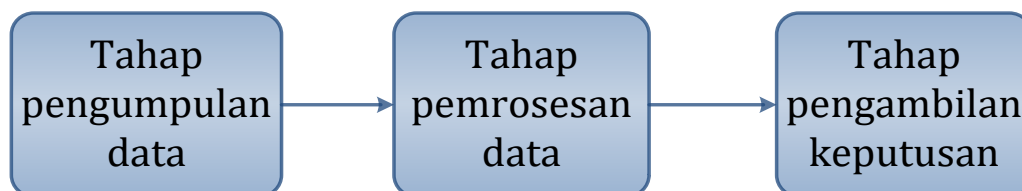
Konsep CBM akan menjelaskan definisi CBM, implementasi CBM, kurva $P(\text{Potential Failure}) - F(\text{Functional Failure})$, interval P-F dan memaksimalkan interval P-F menggunakan pemeliharaan berbasis kondisi. Kurva P-F menunjukkan kegagalan dimulai, dideteksi (poin P) sampai menuju kegagalan fungsional (F).

2.3.1 Definisi *Condition Based Maintenance* (CBM)

CBM didefinisikan sebagai kebijakan pemeliharaan yang melakukan tindakan perawatan sebelum kegagalan produk terjadi, menilai kondisi produk termasuk lingkungan operasi dan memprediksi risiko kegagalan produk dengan cara *real-time*, berdasarkan data peralatan yang dikumpulkan (Shin & Jun, 2015). CBM dikenal sejak tahun 1975 untuk memaksimumkan efektivitas dari keputusan pengambilan *preventive maintenance*. *Condition based maintenance* termasuk dalam *predictive maintenance* karena peralatannya dilakukan inspeksi berdasarkan beberapa kondisi spesifik dan melakukan inspeksi lebih lanjut. CBM menyerupai inspeksi pada *preventive maintenance* dengan cara lain juga merupakan pekerjaan *corrective*. *Corrective maintenance* pada CBM berupa perencanaan dan penjadwalan karena biasanya ada jeda waktu antara pembacaan dan kebutuhan yang segera pada tindakan *corrective* (Levvit, 2002). Perbedaan dari CBM dan *preventive maintenance* adalah *preventive maintenance* memonitor sistem menggunakan interval waktu sedangkan CBM memonitor kondisi secara terus menerus atau secara berkala. Analisis algoritma CBM tidak hanya melihat parameter pada waktu tertentu, tetapi secara keseluruhan termasuk catatan sebelumnya (Gerdes et al., 2016).

Condition Monitoring (CM) dapat dibagi menjadi dua proses yaitu *online* dan *offline*. Proses *online* terjadi selama proses berlangsung dan proses *offline* terjadi ketika peralatan sedang tidak digunakan. CM dapat dilakukan secara *periodic* maupun *continuously*. Monitoring secara *periodic* dilakukan menurut interval waktu. Proses CM termasuk didalamnya *human sense* untuk mengukur atau evaluasi kondisi peralatan. *Continuous monitoring* dilakukan secara terus menerus dan secara otomatis pada peralatan pengukuran tertentu seperti vibrasi dan *acoustic sensors* (Gerdes et al., 2016).

Gambar 2.1 merupakan tiga tahap dalam proses penerapan CBM yaitu pengumpulan data, pemrosesan data pengambilan keputusan perawatan (Jardine, Lin, & Banjevic, 2006):



Gambar 2.1 Tahap dalam CBM (Jardine et al., 2006)

1. Tahap pengumpulan informasi data

Tahap ini merupakan proses dimana data dikumpulkan dan disimpan sesuai dengan keperluan CBM.

2. Tahap pemrosesan data

Pada tahap ini berupa analisa data dari tahap sebelumnya. Terdapat beberapa tipe data, yaitu *value type* (data temperatur, analisis minyak, kelembapan dan tekanan), *waveform type* (data akustik dan data vibrasi), dan *multidimension type* (*visual images, infrared thermograph, X-Ray Images* dan lain-lain)

3. Tahap pengambilan keputusan perawatan

Tahap pembuatan keputusan digolongkan menjadi dua yaitu *diagnosis* dan *prognosis*. Analisis 2 bagian dari CBM yaitu *diagnostic* dan *prognostics* (Shin & Jun, 2015):

a) *Diagnostics*

Diagnostics terdiri dari deteksi kesalahan, isolasi kesalahan, menentukan lokasi kesalahan dan identifikasi setelah kegagalan. Untuk tujuan ini, *diagnostic* membutuhkan data *pre/post-processing*, interpretasi data, beberapa pendekatan statistic dan pendekatan lainnya.

b) *Prognostics*

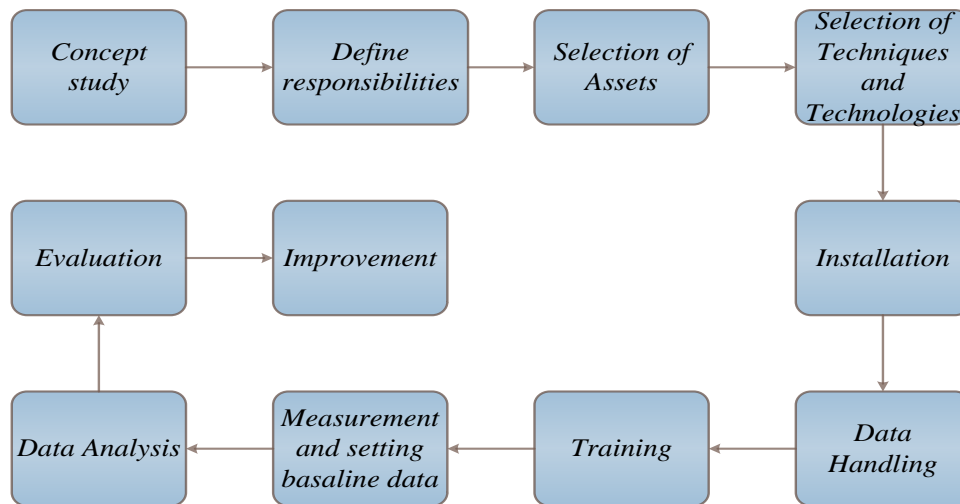
Prognostics sesuai dengan estimasi waktu menuju kegagalan dan risiko untuk kegagalan yang ada pada masa depan. Untuk tujuan ini, *prognostics* berkaitan dengan *remaining useful life* (RUL) atau waktu menuju kegagalan.

Keputusan perencanaan untuk inspeksi pada CBM menggunakan beberapa strategi. Beberapa strategi diantaranya yaitu PIR (*periodic inspection and replacement strategy*) dan QIR (*the quantile based and replacement strategy*) (A Grall, 2016) :

1. Strategi PIR, sistem melakukan inspeksi secara regular dengan waktu yang konstan.
2. Strategi QIR merupakan implemantasi perencanaan *non- periodic* berdasarkan *quantile scheme*.

2.3.2 Implementasi *Condition Based Maintenance*

Rastegari & Bengtsson (2015) dalam sebuah studi kasus menemukan pengimplementasian CBM di perusahaan manufaktur. Langkah langkah proses kerja yang diusulkan untuk tahapan implementasi penggunaan *condition based maintenance* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Implementasi proses CBM (Rastegari & Bengtsson, 2015b)

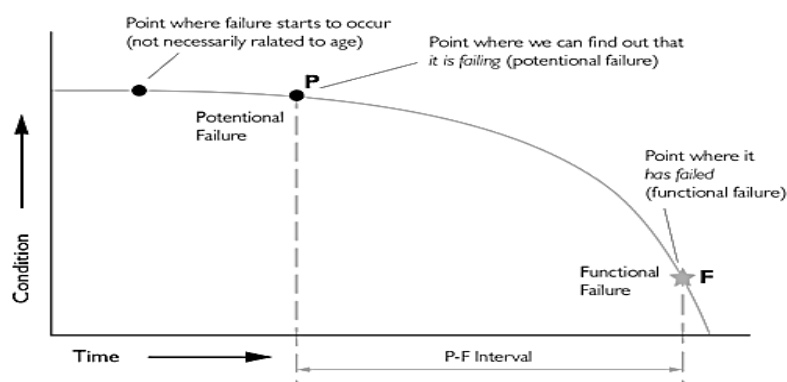
1. Penting untuk memilih tipe teknologi CBM yang sesuai untuk diaplikasikan. Analisa kritis dan audit perawatan membantu untuk menaksir kemungkinan teknik implementasi CBM.
2. Menentukan *responsibilities* termasuk didalamnya fase membuat keputusan, diskusi implementasi ide, mengembangkan keperluan yang ada dan memilih alat, teknik dan teknologi .
3. Analisis kritis dapat menggunakan data sebelumnya dan pengalaman tentang *assets* dari perusahaan.
4. Dengan memutuskan *assets* yang dimonitoring dan tipe kegagalannya, tipe parameter atau *indicator* kegagalan dapat ditentukan.
5. Pada fase instalasi, teknologi *online* diinstal untuk alat *condition monitoring*. Terdapat beberapa faktor yang harus diputuskan diantaranya posisi sensor, penempatan sensor, kabel unit dan database.
6. Pada *online condition monitoring system*, merupakan tahapan yang penting selama implementasi untuk mengkoneksikan dengan server IT perusahaan untuk mengumpulkan data di database.
7. Untuk tahapan *training*, teknologi yang berbeda mempunyai *training* yang berbeda dan keahlian yang berbeda.
8. Berdasarkan tipe teknologi yang digunakan, pengukuran harus dilakukan secara *online (real time)* atau *offline (by handling instrument)*.
9. Pada fase analisis data, level performansi dari data analisis tergantung dari tipe teknologi yang digunakan.
10. Pada fase evaluasi, penting untuk melihat performansi dengan cara yang tepat dan jika mungkin dapat menyediakan *output* yang diinginkan. Beberapa faktor yang dipertimbangkan

seperti tipe sensor, posisi sensor terbaik dan beberapa faktor sukses seperti biaya dan waktu antara deteksi kegagalan dan kealahan.

11. Dari fase evaluasi sebelumnya lalu dilakukan *improvement* untuk implementasi dari kesalahan yang ada.

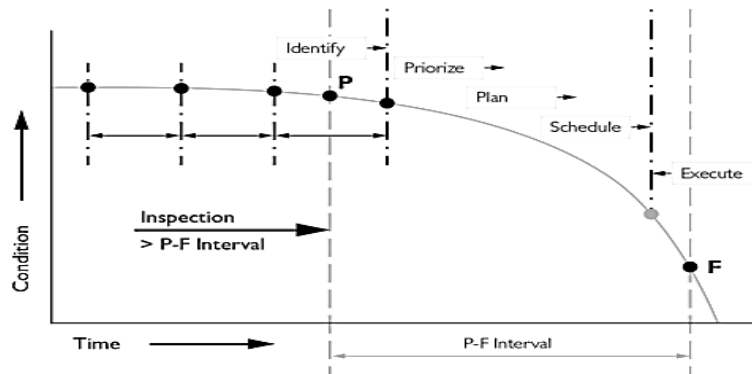
2.3.3 Kurva P-F dan Interval P-F

Kurva P- F menunjukkan tahapan terakhir pada kegagalan. Kurva ini menunjukkan bagaimana kegagalan bermula, poin *deteriorates* ditemukan (poin P) dan jika tidak terdeteksi dan dikoreksi akan berlanjut pada *deteriorate*. Tahapan selanjutnya merupakan percepatan menuju poin *functional failure* (poin F). Meskipun kegagalan bukan hanya karena *age related*, beberapa memberikan sinyal akan terjadinya kegagalan. Jika bukti adanya kegagalan dapat ditemukan pada tahap terakhir kegagalan, sangat mungkin untuk melakukan tindakan pencegahan sebelum terjadi kegagalan secara total atau menghindari konsekuensi. Sumbu horisontal kurva P-F mewakili *time-in-service* untuk komponen atau aset. Sumbu vertikal (Y) menunjukkan beberapa kondisi dari peralatan misalnya poin saat kegagalan mulai terjadi, poin saat *potential failure* dan poin saat *functional failure*. Kurva pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa kinerja suatu aset atau komponen mengalami penurunan seiring dengan waktu sehingga menyebabkan kegagalan fungsional. Kurva dapat berbagai bentuk, linier atau eksponensial, namun umumnya digambarkan sebagai eksponensial seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



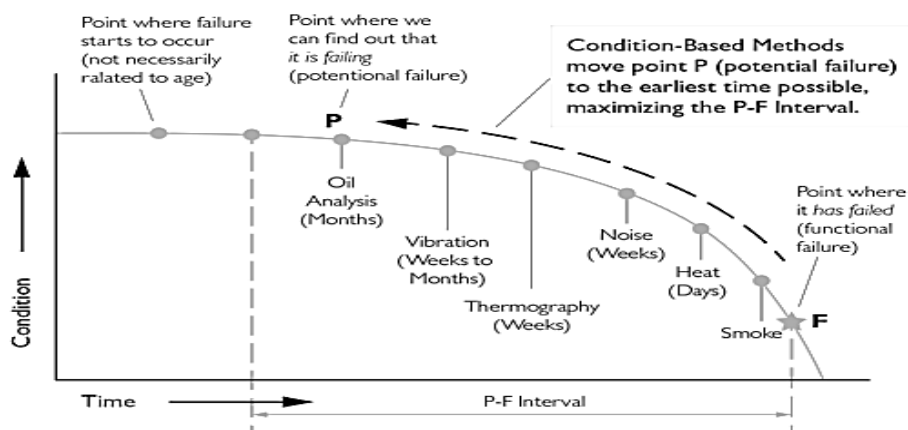
Gambar 2.3 Kinerja Komponen Menggunakan Kurva Eksponensial (Moubray, 1997)

Kurva P-F menunjukkan kegagalan dimulai, titik deteorisasi yang dapat dideteksi (poin P), jika tidak terdeteksi dan salah, berlanjut kepada titik deteroisasi dan biasanya merupakan tingkat percepatan sampai menuju titik kegagalan fungsional (F). Potensial kegagalan adalah keadaan yang tidak bisa digunakan sebagai penentuan kegagalan fungsional. Jika potensial kegagalan terdeteksi antara poin P dan F bisa saja melakukan pencegahan atau menghindari konsekuensi dari fungsi kegagalan (Moubray, 1997).



Gambar 2.4 Interval P-F (Moubray, 1997)

Interval P-F adalah waktu antara inspeksi terakhir dan kegagalan fungsional untuk memprioritaskan, merencanakan dan melaksanakan kegiatan pemeliharaan yang diperlukan sebelum kegagalan (Gambar 2.4). Semakin lama waktu interval P-F, maka hasilnya makin baik. Interval P-F juga dikenal dengan *warning period*, *lead time to failure* atau *failure development period*. Jika interval waktu *on condition task* berakhir dimana waktunya lebih panjang dari interval P-F, maka ada kesempatan untuk menghilangkan kegagalan secara bersamaan. Jika melakukan *task* terlalu sering presentasinya dari interval P-F, maka akan membuang *resources* untuk proses pengecek.



Gambar 2.5 CBM (Inspeksi On-Line) (Moubray, 1997)

2.3.4 Memaksimalkan Interval P-F Menggunakan Pemeliharaan Berbasis Kondisi

Metode dan frekuensi inspeksi membuat kegunaan interval metode P-F berupa CBM (inspeksi *on-line*) (Gambar 2.5). Penghindaran inspeksi *off-line* yang sering menyebabkan berkurangnya proses produksi, dapat membuat metode CBM layak secara ekonomi. Penjadwalan *on condition task* secara teknis sangat *feasible* jika memungkinkan untuk menentukan *clear potential failure condition*, jika interval P-F secara *reasonable* konsisten, praktis untuk memonitor item pada interval kurang dari interval P-F dan interval net P-F cukup panjang untuk

digunakan (Moubray, 1997). Menurut Moubray (1997) terdapat empat kategori utama untuk *condition techniques* yaitu :

1. *Condition monitoring techniques*, yang mana menggunakan peralatan *special* untuk monitor kondisi peralatan lain.
2. Teknik berdasarkan variasi pada kualitas produk.
3. *Primary effects monitoring techniques*, memerlukan penggunaan alat cerdas dan peralatan pemantauan proses.
4. Teknik inspeksi berdasarkan *human sense*.

2.4 Perbedaaan TBM dan CBM

Perawatan secara tradisional menggunakan waktu atau *Time Based Maintenance* (TBM) memiliki beberapa kekurangan dan kelebihan dimana dengan perkembangan teknologi yang ada, ditemukannya perawatan berdasarkan kondisi atau *condition based maintenance* (CBM). Tabel 2.1 menjelaskan beberapa kriteria perbandingan antara TBM dan CBM (Ahmad & Kamaruddin, 2012b).

Tabel 2.1 Perbandingan TBM dan CBM

Kriteria	TBM	CBM
Data yang dibutuhkan & dikumpulkan	Menggunakan waktu kegagalan berdasarkan data waktu	Menggunakan banyak parameter yang dapat digunakan untuk mengindikasi kondisi mesin
Data analisis/ modeling	Menggunakan teori <i>reliability</i> berdasarkan asumsi <i>bathup curve</i> (Asumsi yang tidak realistis, kondisi operasi yang diasumsikan <i>constant</i> , hanya efektif untuk peralatan dengan kondisi <i>deteriorating</i>)	<i>Deterioration modeling</i> tetapi membutuhkan sampel data yang besar
Proses keputusan	Menggunakan pendekatan optimasi	Penggunaan pendekatan estimasi kegagalan dan perbandingan dengan keterbatasan kegagalan sebelumnya

Berdasarkan perbandingan TBM dan CBM pada Tabel 2.1, maka akan dijelaskan kelebihan dan kekurangan TBM dan CBM yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Shin & Jun, 2015).

Tabel 2.2 Keuntungan dan Kerugian TBM dan CBM

	Keuntungan	Kerugian
TBM	Tidak membutuhkan <i>manpower</i> atau waktu untuk inspeksi	Biaya perbaikan lebih tinggi daripada <i>over maintenance</i>
CBM	<ol style="list-style-type: none"> 1. CBM memberi kita peringatan sebelumnya dari kegagalan yang akan datang dan meningkatkan presisi dalam prediksi kegagalan. 2. CBM berguna untuk jenis produk dimana keselamatan dianggap penting karena dapat meningkatkan keselamatan dengan mendeteksi masalah terlebih dahulu sebelum masalah serius terjadi dan mengarah ke peningkatan kepuasan pelanggan dengan jaminan kualitas yang tinggi. 3. Mengurangi atau menghilangkan inspeksi yang tidak perlu. 4. Menurunkan interval perawatan berbasis waktu. 5. Menghindari biaya perawatan yang tidak perlu dan memungkinkan pemeliharaan yang dijadwalkan lebih efisien. 6. CBM dapat mengoptimalkan proses produksi dan meningkatkan produktivitas. 7. Membantu dalam prosedur <i>diagnostic</i> karena relatif mudah untuk mengaitkan kegagalan untuk komponen tertentu melalui parameter yang dipantau. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biaya investasi untuk CBM biasanya tinggi. 2. Membutuhkan beberapa persyaratan untuk menginstal, menggunakan pemantauan peralatan dan mengembangkan beberapa tingkat pemodelan atau pengambilan keputusan strategi. 3. Dengan melaksanakan CBM, tidak hanya investasi <i>hardware</i>, tetapi juga pelatihan pada staf sehingga menyebabkan biaya yang cukup mahal. 4. Pendekatan CBM masih dalam masa awal sehingga terdapat beberapa keterbatasan dalam memastikan akurasi <i>diagnostic</i> dan <i>prognostics</i>.

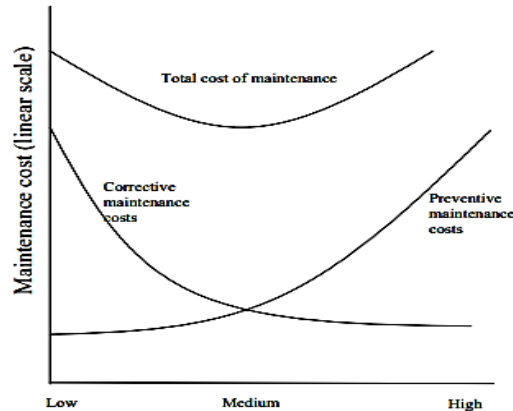
2.5 Biaya Perawatan

Biaya yang termasuk dalam perawatan pada tiap perusahaan terkadang berbeda. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Al-najjar & Alsyouf (2004), biaya perawatan terdiri dari dua yaitu biaya perawatan *internal* dan biaya perawatan *external*:

- a. Biaya perawatan *internal* yaitu biaya tenaga kerja langsung, *direct material*, *overheads* (contohnya peralatan, instrumen, *training*, administrasi dan biaya perawatan lainnya).

- b. Biaya perawatan *external* yaitu biaya original peralatan *manufacturing* dan biaya lainnya termasuk biaya *outsourcing*.

Perbandingan frekuensi perawatan berupa *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* dapat dilihat pada Gambar 2.6. Performansi dari perawatan seharusnya berusaha untuk optimisasi dari biaya perawatan yang serendah mungkin.



Gambar 2.6 *Frequency Of Maintenance* (Eti & Probert, 2006)

Beberapa biaya yang ada dalam biaya perawatan menurut Alaswad & Xiang (2017) yaitu biaya *preventive replacement* (C_p), biaya *corrective replacement* (C_c), biaya *downtime* (C_d) dan biaya inspeksi (C_i).

2.6 Monitoring Techniques

Monitoring techniques yang biasa digunakan berupa pemantauan kondisi, pemantauan kinerja dan *human inspection*. Teknik yang digunakan harus sesuai dengan interval P-F sehingga bisa diketahui tindakan yang harus dilakukan (Børresen, 2011).

2.6.1. Human Inspection

Human inspection merupakan pemantauan yang sangat sederhana sesuai dengan indera manusia. Pemantauan ini menggunakan pengumpulan data secara manual (Børresen, 2011).

2.6.2. Performance Monitoring

Pemantauan kinerja berdasarkan pemantauan peralatan seperti aliran atau suhu. Beberapa kasus yang menggunakan teknik pemantauan kinerja memerlukan modifikasi tambahan sebagai CBM untuk sistem IO (Børresen, 2011).

2.6.3. Condition Monitoring Techniques

Teknik pemantauan untuk memantau kondisi mesin dan diagnosis kesalahan digunakan untuk membuat model keputusan. Terdapat lima teknik utamanya dan dua teknik yang paling populer yaitu analisa vibrasi dan analisa minyak (Wenbin Wang, 2007).

2.6.3.1 Dynamic Monitoring (Vibration Based Monitoring)

Dynamic monitoring merupakan pemantauan bagian bagian yang bergetar pada frekuensi yang berbeda- beda. Frekuensi ini memiliki beberapa spektrum, dan pemantaun aset atau mesin secara keseluruhan mampu mengetahui getaran komponen individu dan mencari variasi dan perubahan. Amplitudo sensor digunakan untuk melihat rentang frekuensi yang lebih rendah, sensor kecepatan digunakan untuk frekuensi rentang menengah dan *accelerometers* untuk frekuensi yang lebih tinggi. Sedangkan untuk analisis, *transformasi fourier* memungkinkan untuk konversi data menjadi spektrum frekuensi. Sistem cerdas buatan telah dikembangkan untuk analisis getaran (Børresen, 2011).

Pemantauan berbasis getaran adalah teknik *on (off) line* yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan sistem berdasarkan sinyal getaran. Getaran adalah variasi waktu yang dideskriptifkan terhadap gerak atau posisi suatu sistem mekanik berdasarkan nilai rata- rata atau referensi. Pemantauan getaran terdiri dari besarnya (tingkat keseluruhan) dari getaran dan frekuensi (bentuk gelombang waktu). Kecepatan getaran dilihat sebagai kriteria *magnitude* untuk menilai kondisi mesin (Wenbin Wang, 2007).

2.6.3.2 Particle Monitoring

Beberapa kegagalan ditandai dengan adanya partikel yang dihasilkan dengan berbagai ukuran dan bentuk. Sehingga pemantauan partikel bisa mendeteksi kegagalan seperti keausan dan korosi (Børresen, 2011).

2.6.3.3 Chemical Monitoring (Oil Based Monitoring)

Pemantauan kimia bisa mendeteksi unsur fluida seperti pelumasan minyak. Pemantauan ini bisa mendeteksi keausan, kebocoran dan korosi (Børresen, 2011). Pemantauan berdasarkan minyak melibatkan pengambilan sampel dan analisis minyak untuk berbagai jenis sifat dan bahan untuk memantau keausan dan kontaminasi di mesin, transmisi atau system hidrolis dll. Tujuan dari pemantauan berdasarkan minyak adalah menyediakan alat prediksi kemungkinan kegagalan yang akan datang tanpa membongkar peralatan (Wenbin Wang, 2007).

2.6.3.4 Physical Monitoring

Kegagalan secara fisik dapat berupa retakan, *fracture* atau beberapa jenis deformasi yang lain pada peralatan (Børresen, 2011).

2.6.3.5 Temperature Monitoring

Pemantauan suhu yaitu pemantauan suatu mesin atau asset bukan berdasarkan bahan yang ada diproses. Penggunaan pemantauan ini menggunakan kamera inframerah dimana metode analog yang dapat diketahui berdasarkan metode warna pada suhu yang berbeda (Børresen, 2011).

2.6.3.6 Electrical Monitoring

Pemantauan listrik berdasarkan perubahan resistansi, konduktivitas, kekuatan dielektrik dan potensial. Penggunaan pemantauan ini mampu mendeteksi beberapa mode kegagalan yang berbeda seperti korosi dan kehilangan isolasi (Børresen, 2011).

2.7 Condition Based Maintenance Modeling

Penelitian ini menggunakan empat referensi yang digunakan berdasarkan penelitian Andrawus et al. (2006), Rastegari & Bengtsson (2015), Verma, Khattravath, & Salour (2013) dan Rajan & Roylance (1996).

Berdasarkan penelitian Andrawus et al. (2006) mengenai TBM dan CBM pada *wind farms*. Penelitian ini mempertimbangkan adanya *failure consequence* yang diakibatkan adanya kegagalan untuk perawatan TBM. Sedangkan untuk perawatan CBM terdapat investasi mesin untuk mengatasi adanya kegagalan seperti yang ada pada TBM dan selanjutnya dilakukan perbandingan antara biaya untuk perawatan TBM dan CBM.

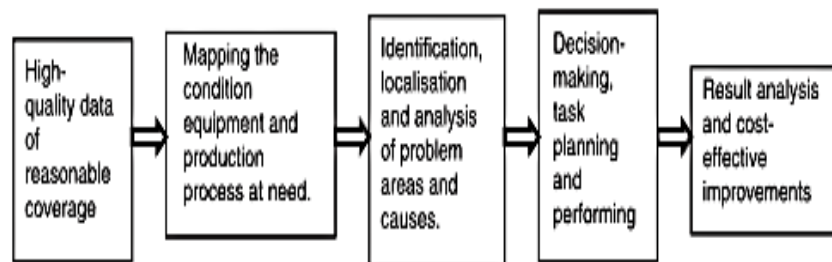
Penelitian yang dilakukan oleh Rastegari & Bengtsson (2015) untuk mengetahui potensi penghematan bagi perusahaan manufaktur dengan menerapkan CBM dalam proses *hardening* dan *machining processes*. Beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam analisis biaya perawatan yaitu *capital loss cost* dan *production loss cost*. Pemodelan biaya yang dilakukan berfokus pada biaya yang efektif pada CBM. Dua model biaya dari literatur yang digunakan telah digabungkan dan digunakan untuk menggambarkan perbedaan antara biaya perawatan tahunan dengan dan tanpa CBM. Faktor yang dilihat untuk mengindikasikan keuntungan CBM yaitu mengurangi *losses* karena kerusakan peralatan, *production loss*, *quality loss*, *environmental loss* dan *safety loss*. Potensial penghematan dalam pengimplementasian CBM yaitu pengurangan probabilitas dari kerusakan maksimal di peralatan produksi dan pengurangan *production losses* dari volume produksi yang tinggi.

Penelitian Verma et al. (2013) menggunakan pemodelan *cost benefit analysis* untuk *corrective maintenance* dan *preventive maintenance*. Menghitung *net revenue* (menggunakan *labor cost, failure rate, utilization factor etc*) dari mesin dan biaya *alternative* yang efektif dari perawatan mesin. Untuk menghitung pendapatan bersih dari mesin.

Model matematis telah dirancang untuk operasi pompa seluruh perusahaan dilakukan pada penelitian (Rajan & Roylance, 1996). Hal ini didasarkan pada data aktual yang diperoleh selama periode lima tahun dimana prediksi biaya pemeliharaan ditetapkan dan kelayakan penggunaannya berbasis kondisi. Penambahan komponen biaya dalam pemeliharaan mesin seperti tingkat kegagalan, individu tingkat kegagalan komponen; selanjutnya meningkatkan pendapatan yang dihasilkan oleh sebuah mesin. Tiga formulasi pendapatan bersih yang berbeda dengan jelas menunjukkan perlunya persamaan analisis biaya yang tepat. CBM memberikan informasi tentang tingkat kegagalannya sehingga tingkat perbaikan meningkatkan pendapatan bersih secara radikal. CBM adalah pilihan biaya efektif dan menghasilkan lebih banyak pendapatan, dibanding yang lain strategi pemeliharaan

2.8 Prosedur untuk mengembangkan dan menjalankan biaya yang efektif kebijakan CBM

Menurut Al-najjar (2012) dalam studi kasus, pengembangan model prosedur untuk menjalankan kebijakan biaya yang efektif pada CBM dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Prosedur Kebijakan Biaya (Al-najjar, 2012)

2.9 Image Processing

Teknik *image processing* yaitu mendeskripsikan *image processing method* dan mempresentasikan data pra pengolahan untuk mengembangkan *crack detection method* (Wi, 2013). Tujuan dari *image processing* menurut (A. Shinkar et al., 2012) adalah:

- Visualization*, yaitu mendeteksi objek yang tidak terlihat.
- Image retrieval*, yaitu mendeteksi citra yang menarik.
- Image sharpening and restoration* yaitu membuat gambar dengan kualitas yang tinggi.
- Image recognition*, yaitu mengklasifikasikan objek yang benar dalam gambar yang diambil.

- e. *Measurement of patterns*, yaitu menentukan objek yang menarik dari gambar yang diambil.

Image processing techniques telah dikembangkan menjadi beberapa teknik yaitu:

- Image representation, digital image* mengandung beberapa elemen (*pixels*) yang terdiri dari koordinat (x,y) untuk mengidentifikasi posisi poin dari gambar dan *intensity* (*grey scale*)
- Image pre-processing*, tahap ini sangat penting membantu untuk membedakan *defect* dari *background* yang ada.
- Image segmetation*, tujuan dari tahap ini adalah untuk mengubah representasi dari gambar menjadi sesuatu yang lebih berguna dan mudah dipahami.
- Image classification*, proses ini menggunakan *image processing* untuk mengklasifikasikan informasi yang relevan dari gambar berdasarkan *intensity*, warna dan tekstur.

2.10 Present Worth Analysis

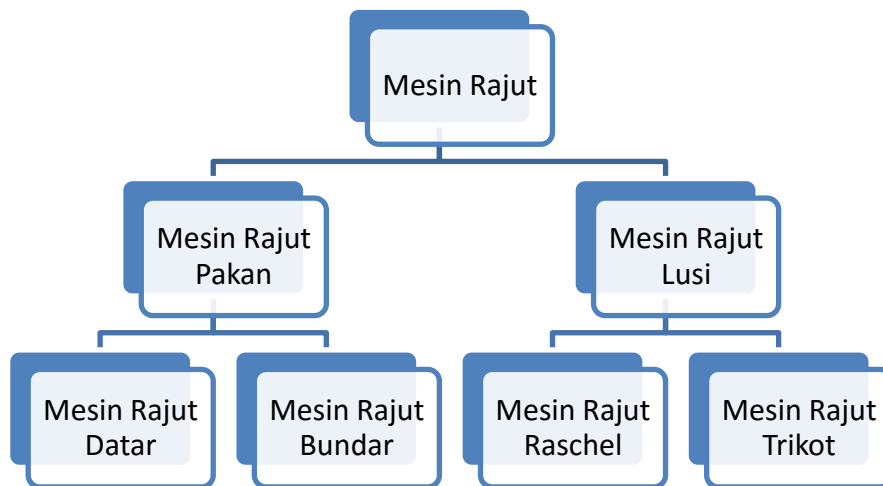
Jumlah uang yang ada pada masa depan dikonversikan ke nilai ekuivalen masa sekarang (*present worth*) yang mana selalu kurang dari *future cash flow* karena semua P/F faktor mempunyai nilai kurang dari 1 untuk suku bunga lebih besar dari nol. Sehingga nilai *present worth* sering disebut *discounted cash flows* (*DCF*) dan tingkat suku bunga mengarah pada tingkat diskonto. Analisa *present worth* juga menggunakan beberapa istilah diantaranya *present value* (PV) dan *net present value* (NPV). Penggunaan *present worth* untuk membandingkan *alternative* atau yang telah dilakukan di suatu proyek (Blank & Tarquin, 2005).

$$PWA = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2- 1)$$

$$PW = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2- 2)$$

2.11 Mesin Rajut

Mesin rajut dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu mesin rajut pakan dan mesin rajut lusi. Perajutan pakan adalah proses rajut dengan pembentukan jeratan yang dilakukan secara berurutan kearah lebar kain atau kearah pakan pada teknologi pertenunan. Sedangkan mesin rajut lusi adalah proses rajut dengan pembentukan jeratan yang terjadi secara berurutan kearah panjang kain atau seperti kearah lusi (Hartanto, 2013). Gambar 2.8 menggambarkan klasifikasi mesin rajut berdasarkan penelitian yang dilakukan Hartanto (2013).



Gambar 2. 8 Klasifikasi Mesin Rajut (Hartanto, 2013)

Terdapat 3 faktor yang menyebabkan mesin rajut berhenti (Rocha & Soares, 2004):

a. Karakteristik Benang.

Kekuatan benang harus cukup kuat untuk menahan tegangan tarik terjadi saat merajut.

b. Persyaratan Mutu Mesin

Kualitas fungsi mesin rajut bisa diwujudkan dengan perawatan dan pelumasan yang tepat pada mesin. Pelumasan yang tepat adalah kebutuhan dasar dari mesin rajut. Setelah jadwal perawatan dapat dilakukan dengan memeriksa unit pelumasan untuk minyak dan udara tekan yang cukup untuk tekanan yang ditentukan adalah pemeriksaan harian sebelum menyalakan mesin. Membersihkan semua bagian benang dan elemen panduan benang adalah pengecek mingguan yang harus dilakukan.

c. Kondisi produksi mesin rajut.

- 1) Jumlah benang yang sesuai berdasarkan pemilihan alat ukur mesin, jenis mesin dan struktur rajutan.
- 2) Pengaturan mesin yang optimal didasarkan pada jenis benang dan struktur rajutan.
- 3) Penyimpanan benang harus memiliki kelembapan yang cukup untuk merajut.
- 4) *Air conditioning* pabrik rajut untuk mencegah benang mengering, mengurangi benang rusak dan meningkatkan struktur kain.

2.12 Literature Mengenai Alternatif Evaluasi *Time Base Maintenance (TBM)*

Saat ini, perusahaan banyak mengembangkan konsep perawatan termasuk didalamnya tentang *condition based maintenance* yang merupakan perkembangan perawatan tradisional (TBM) yang hanya mengandalkan data historis. *Preventive maintenance* merupakan perawatan menggunakan penjadwalan sehingga mempunyai keuntungan tidak hanya pada aspek ekonomi

tetapi juga reliabilitas. Perbedaan dari CBM dan *preventive maintenance* adalah *preventive maintenance* mengecek sistem menggunakan interval waktu sedangkan CBM memonitoring kondisi secara terus menerus (Gerdes et al., 2016). Pemeliharaan berdasarkan kondisi dimulai pada tingkat kerusakan rendah. Informasi kondisi tidak dapat dimanfaatkan lagi setelah pemeliharaan *preventif* telah direncanakan. Ketidakpastian yang kecil dalam memperoleh informasi kondisi hanya memiliki efek kecil pada biaya strategi CBM yang optimal. Sedangkan, ketidakpastian yang tinggi pada kegagalan memiliki dampak besar keuangan pada pemeliharaan berdasarkan kondisi dari pada pemeliharaan berbasis waktu (TBM) (Jonge et al., 2017).

Perkembangan terbaru dalam teknologi, menyebabkan pergeseran dari pemeliharaan berbasis waktu (*time based maintenance*) menjadi pemeliharaan berdasarkan kondisi (*condition based maintenance*) (Jonge et al., 2017). CBM adalah program perawatan yang merekomendasikan perawatan berdasarkan informasi yang dikumpulkan dari kondisi berdasarkan proses *monitoring*. *Condition Monitoring* (CM) dapat dibagi menjadi dua proses yaitu *online* dan *offline*. Proses *online* terjadi selama proses berlangsung dan proses *offline* terjadi ketika peralatan sedang tidak digunakan. CM dapat dilakukan secara *periodic* maupun *continuously*. Kekurangan dari CM adalah biaya yang mahal karena diperlukan peralatan yang khusus dan informasi yang akurat dapat dilakukan karena aliran yang terus menerus dari data yang diamati. Sebaliknya kekurangan dari *monitoring* secara *periodic* adalah kemungkinan kehilangan informasi penting dari kegagalan peralatan antara interval perawatan (Ahmad & Kamaruddin, 2012b). Teknologi CM terkenal sebagai sumber informasi yang dapat digunakan untuk memetakan kondisi komponen. CBM tidak hanya alat untuk mengumpulkan penilaian untuk *system* dari CM atau alat untuk mendiagnosis dan prognosis kondisi dari komponen. Merencanakan tindakan perawatan dengan biaya yang efektif dan *reliable* harus mengerti *deterioration process* dari permintaan, sehingga penting untuk menentukan frekuensi pengukuran dan mengatur alarm level CM. Kebijakan CBM mempengaruhi *inventory spare part*, *capital* dan organisasi. Perusahaan perlu dalam mempertimbangkan konsep biaya yang efektif sehingga dalam investasi penggunaan CBM dapat berkontribusi profit pada perusahaan (Al-najjar, 2012).

Biaya dalam perawatan meliputi biaya yang terlihat dalam operasi perawatan dan kehilangan biaya produksi yang diakibatkan dari berhentinya produksi yang menyebabkan kehilangan tingkat produksi dan kualitas produk. Sedangkan tujuan dari perawatan itu sendiri adalah *availability* yang tinggi pada asset produksi dan mengurangi biaya perawatan. Biaya berhubungan dengan kehilangan biaya karena masalah perawatan yang akan berakibat pada tingkat produksi (Gerdes et al., 2016). CBM dapat memantau produk dan mengumpulkan status

data dengan cara *real time*, hal tersebut merupakan cara terbaik untuk menganalisis status produk. Namun, dengan pendekatan ini terdapat beban berat dari pengumpulan data yang mengarah ke biaya tinggi. (Shin & Jun, 2015). Dari sudut pandang praktis, tidak efektif untuk mengumpulkan data status produk secara *real time* dan terus menerus. Ada beberapa poin pembahasan dalam melaksanakan CBM. Pertama, CBM tidak selalu efektif dalam semua kasus. Tergantung pada jenis produk dan siklus hidup, manfaat ekonomi akan berbeda karena tingkat kepentingan pemeliharaan operasi akan berbeda. Sehingga membutuhkan analisis rinci tentang strategi perawatan. Untuk pabrik skala besar atau produk bernilai tinggi, CBM bisa menjadi solusi yang baik karena penyebab kegagalan produk menyebabkan kerugian cukup besar (Shin & Jun, 2015). Ketika biaya pemeliharaan bervariasi tiap siklus, mengoptimalkan strategi CBM berdasarkan kriteria biaya tidak cukup, karena bisa menyebabkan kesalahan dalam estimasi anggaran yang tidak diinginkan dari sudut pandang manajemen risiko. Sehingga, penting mempertimbangkan strategi CBM berupa strategi PIR (*periodic based inspection*) yang mengandalkan inspeksi berkala dan strategi QIR (*quartile based inspection*) yang mengandalkan inspeksi non-periodik. Meningkatkan kinerja strategi perawatan mengarah pada penurunan ketahanan dan sebaliknya. Hasil numerik menunjukkan bahwa strategi QIR memberikan kinerja yang lebih baik sebagai indikasi sesuai dalam *literature* dan juga biaya *downtime* pemeliharaan adalah kontributor yang lebih tinggi untuk strategi ketahanan ini (A Grall, 2016).

Memisahkan optimalisasi perawatan dengan cara diagnosis dan proses prognosis dapat memanfaatkan kedua *diagnostic* dan informasi prognostik untuk optimasi pemeliharaan tanpa membatasi model degradasi tertentu. Selain itu juga menyediakan kerangka kerja yang sistematis untuk menggabungkan faktor ekonomi dan ketergantungan struktural di antara komponen dalam sistem. Keuntungan dari pendekatan yang diusulkan pada tingkat komponen adalah pemeliharaan direncanakan tepat waktu, jika hal ini tidak menyebabkan kelebihan biaya dan kendala keamanan. Pada tingkat sistem, biaya pemeliharaan yang signifikan dapat dikurangi dengan menggabungkan atau menyebarkan kegiatan (Verbert et al., 2017). Usulan kebijakan perawatan *imperfect* menjadi salah satu yang sempurna untuk beberapa kasus. Performansi dan usulan kebijakan diilustrasikan dan didiskusikan melalui beberapa nilai *numeric* dari sistem yang memburuk. Perbedaan *sensitivitas analisis* yang diinvestigasikan menunjukkan keuntungan pada usulan kebijakan perawatan. Proses *gamma stochastic* digunakan untuk menggambarkan kerusakan sistem yang akan dilakukan perawatan, bagaimanapun juga kebijakan perawatan dapat diaplikasikan untuk beberapa sistem dengan perbedaan kerusakan perilaku. (Do, Voisin, Levrat, & Iung, 2015)

Dalam prakteknya, perusahaan biasanya mengganti komponen segera setelah terjadi kegagalan, meskipun redundansi dalam peralatan masih bagus. Meskipun meminimalkan biaya pemeliharaan keseluruhan mungkin menjadi salah satu tujuan utama, memaksimalkan ketersediaan juga dianggap penting. Dalam model saat ini, ketersediaan dijamin dengan memberlakukan sistem persediaan, tetapi tidak ada informasi yang mampu memanfaatkan pada ketersediaan *actual* (Keizer, Teunter, & Veldman, 2016). Dilihat dari konsep atau prinsip, pengaplikasian CBM lebih realistis dibandingkan TBM. Hal ini, berdasarkan kenyataan bahwa 99% peralatan mengalami kegagalan mendahului dari sinyal tertentu, kondisi atau *indicator* seperti kegagalan akan terjadi. CBM data analisis atau model secara objektif tepat digunakan untuk mengevaluasi kondisi peralatan dengan *deterioration modeling*. Sebaliknya, TBM data analisis atau model harus menggunakan beberapa peraturan secara *statistic* dan beberapa asumsi dimana tidak realistis untuk diaplikasikan. (Ahmad & Kamaruddin, 2012b). Penggunaan CBM untuk melengkapi PM dan mengumpulkan data sehingga *preventive maintenance* yang menyediakan interval waktu secara optimal, sepanjang jadwal PM yang dibutuhkan (Gerdes et al., 2016).

Berikut adalah ringkasan ketigabelas jurnal penelitian diatas mengenai *condition based maintenance* yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ringkasan Jurnal Referensi

Judul	Metode	Hasil
1 <i>On condition based maintenance</i> (Shin & Jun, 2015)	Menentukan beberapa aspek pendekatan CBM yaitu : pengertian, standard internasional, prosedur dan teknik dengan pengenalan beberapa contoh kasus yang relevan .	<ul style="list-style-type: none"> • CBM menjadi solusi yang baik karena penyebab kegagalan produk dapat dipantau dan terdapat status data produk secara <i>real time</i>. • Pengumpulan data <i>real time</i> mengarah ke biaya tinggi. • Dari sudut pandang praktis, tidak efektif untuk mengumpulkan data status produk <i>real time</i> & terus menerus
2 <i>Clustering condition-based maintenance for systems with redundancy and economic dependencies</i> (Keizer et al., 2016)	Mengembangkan <i>dynamic programming model</i> untuk menemukan strategi perawatan yang optimal untuk system, dan menunjukkan secara numerical lebih baik daripada kebijakan sebelumnya	Dalam prakteknya, perusahaan biasanya mengganti komponen segera setelah terjadi kegagalan, meskipun peralatan masih terlihat kuat (<i>redundancy</i>). Struktur kebijakan yang optimal dapat membantu perusahaan memutuskan kapan menunda perawatan korektif untuk menghemat biaya dengan memanfaatkan redundansi peralatan
3 <i>On the Assessment of Performance and Robustness of Condition-Based Maintenance Strategies</i> (A Grall, 2016)	<p>Menggunakan 2 strategi yang akan diinvestigasi:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inspeksi secara periodic (PIR) dan strategi <i>replacement</i>. 2. <i>Quantile based inspection</i> (QIR) dan strategi <i>replacement</i>. <p>Perbandingan 2 strategi tersebut untuk menemukan faktor yang paling mempengaruhi performansi dan ketahanan sehingga dapat menentukan strategi perawatan yang tepat.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian ini menggambarkan bahwa kinerja dan ketahanan adalah dua konsep yang berlawanan dari strategi pemeliharaan. Peningkatan kinerja strategi pemeliharaan mengarah ke penurunan ketahanan dan sebaliknya. • Hasil numerik menunjukkan bahwa strategi QIR memberikan kinerja yang lebih baik seperti ditunjukkan dalam literature bahwa biaya pemeliharaan <i>downtime</i> adalah kontributor yang tinggi untuk strategi ini robustness. Selain itu juga disimpulkan bahwa strategi QIR memiliki ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan strategi PIR. Pengamatan sebelumnya menunjukkan bahwa strategi QIR mengontrol sistem lebih efisien terutama <i>downtime</i>.

Lanjutan Tabel 2.3 Ringkasan Referensi

Judul	Metode	Hasil
4 <i>The influence of practical factors on the benefits of condition-based maintenance over time-based maintenance</i> (Jonge et al., 2017)	1. Membandingkan penggunaan CBM & TBM dengan mempertimbangkan kombinasi beberapa faktor. 2. Melakukan penyelidikan numeric untuk melihat dampak dari berbagai karakteristik pada manfaat relative dari CBM	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semua faktor signifikan dapat mempengaruhi manfaat CBM daripada TBM. Pentingnya faktor yang berbeda dalam situasi praktis tertentu dan menilai apakah manfaat relatif dari CBM memberikan tambahan biaya misalnya peralatan pemantauan dan pengumpulan, penyimpanan dan data analisis.
5 <i>Timely condition-based maintenance planning for multi-component systems</i> (Verbert et al., 2017)	1. Menentukan strategi perencanaan perawatan tiap komponen dalam system. 2. Optimasi perencanaan tingkat system (<i>multiple component</i>) dengan menghitung secara ekonomi dan ketergantungan structural dengan tujuan keuntungan dari penyebaran atau kombinasi aktivitas perawatan Penerapan metode ini ditunjukkan melalui studi kasus tentang perencanaan pemeliharaan jaringan kereta api.	1. Pada tingkat komponen, pemeliharaan yang direncanakan tepat waktu, tidak menyebabkan penambahan biaya & kendala keamanan, mampu menginformasikan pengguna mengenai <i>downtime</i> sistem, dan untuk mengoptimalkan manajemen suku cadang, material, dan tenaga; 2. Pada tingkat sistem, biaya pemeliharaan secara signifikan berkurang dengan menggabungkan atau menyebarkan kegiatan pemeliharaan.
6 <i>An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application</i> (Ahmad & Kamaruddin, 2012b)	1. Membandingkan tantangan pelaksanaan TBM dan CBM dari sudut pandang praktis, dengan fokus pada isu- isu penentuan data yang dibutuhkan, analisis data dan pengambilan keputusan. 2. Menemukan pertimbangan teknik terbaik di masa depan dengan prinsip, prosedur dan tantangan pada industry	CBM analisis data / pemodelan memiliki tujuan yang sangat jelas untuk mengevaluasi kondisi peralatan melalui pemodelan kerusakan. Sebaliknya, analisis TBM data / pemodelan harus mengikuti beberapa aturan statistik dan asumsi (misalnya, kurva bak asumsi); ini tidak realistis untuk aplikasi dalam praktek nyata. Akhirnya, disimpulkan bahwa penerapan CBM lebih sederhana daripada TBM didasarkan pada pendekatan optimasi.

Lanjutan Tabel 2.3 Ringkasan Jurnal Referensi

Judul	Metode	Hasil
7 <i>Effects of Condition Based Maintenance on Cost Caused by Unscheduled Maintenance of Aircraft (Gerdes et al., 2016)</i>	Menggunakan integrasi <i>preventive maintenance</i> dan CBM	CBM dan analisis trend yang diaplikasikan pada komponen yang ada pada <i>air conditioning system</i> dapat mengurangi delay dari perawatan yang tidak terjadwal kira-kira 80%. Perlunya verifikasi implementasi CBM pada lingkungan pesawat & menggantikannya dengan <i>preventive maintenance</i> terutama pada system penerbangan yang kritis. Penggunaan CBM untuk melengkapi PM dan mengumpulkan data sehingga <i>preventive maintenance</i> yang menyediakan interval waktu secara optimal, sepanjang jadwal PM yang dibutuhkan.
8 <i>On establishing cost-effective condition-based maintenance (Exemplified for vibration-based maintenance in case companies) (Al-najjar, 2012)</i>	Metode yang digunakan dalam jurnal ini menerangkan tentang pengetahuan dan penggunaan CM dan CBM dengan menggunakan 3 study kasus.	Perbedaan CBM dan CM harus dieliminasi ketika mengembangkan CBM dan menjalankan biaya yang efektif. Pengaplikasian kebijakan VBM pada perusahaan harus mempertimbangkan biaya yang efektif meskipun beberapa prosedur tidak jelas. Ini berarti bahwa pengaplikasian prosedur seharusnya merupakan kesempatan untuk pengaplikasian dan menjalankan kebijakan biaya yang efektif yang akan menaikkan biaya yang cukup besar.
9 <i>Modelling condition monitoring intervals : A hybrid of simulation and analytical approaches ((W Wang, 2003)</i>	Prosedur yang dilakukan dalam 2 tahap. 1. Model statis yang digunakan untuk menentukan <i>fixed interval monitoring</i> item 2. Pendekatan dinamis digunakan untuk menentukan waktu pemantauan berikutnya pada titik pemantauan saat ini dimana item tersebut tidak dijadwalkan untuk penggantian preventif sebelum waktunya.	1. Fungsi kriteria yang digunakan untuk menentukan waktu pengecekan berikutnya menggunakan persamaan <i>conventional renewal reward</i> yang terbaik dari tes simulasi. 2. Proses optimasi baik secara mode <i>static</i> dan <i>dynamic</i> untuk menyelesaikan masalah <i>analytical</i> dan <i>numeric</i> dengan model bergantung pada dua jumlah yang tidak diketahui diselesaikan dengan solusi numerik dan simulasi prosedur adaptif.

Lanjutan Tabel 2.3 Ringkasan Jurnal Referensi

Judul	Metode	Hasil
10 <i>Determining an Appropriate Condition-based Maintenance Strategy for Wind Turbines</i> (Andrawus et al., 2006)	<ul style="list-style-type: none"> • Makalah ini membahas konsep & relevansi <i>Reliability-Centered Maintenance (RCM)</i> & <i>Asset Life-Cycle Analysis (ALCA)</i> terhadap industri energi angin. • Kemungkinan karakteristik kegagalan turbin angin serta aktivitas CBM yang sesuai akan ditentukan dengan menggunakan pendekatan RCM. • Kelayakan komersial kegiatan CBM akan dinilai dengan menggunakan teknik ALCA dengan mempertimbangkan lokasi geografis, operasi intermiten dan nilai pembangkitan 	<ul style="list-style-type: none"> • Dua strategi perawatan umum untuk turbin angin yaitu FBM dan TBM. Strategi tersebut tidak memadai untuk mendukung penggerak komersial industri angin saat ini. • Metodologi untuk menentukan strategi CBM yang sesuai dengan menggunakan hibrida RCM dan ALCA disajikan dengan studi kasus pada petak angin darat 26x600 kW untuk menunjukkan penerapan pendekatan praktis
11 <i>Cost Effectiveness of Condition Based Maintenance in Manufacturing</i> (Rastegari & Bengtsson, 2015a)	<ul style="list-style-type: none"> • Makalah ini menyajikan panduan yang diusulkan untuk analisis biaya dan manfaat penerapan CBM di industri manufaktur. • Hasilnya menunjukkan faktor-faktor yang harus dipertimbangkan untuk mengevaluasi biaya penerapan CBM dan manfaatnya. 	<p>Dengan menganalisa data empiris, penghematan paling potensial dengan menerapkan CBM disajikan dengan mengurangi kemungkinan kerusakan maksimal pada peralatan produksi dan mengurangi kerugian produksi terutama pada volume produksi yang tinggi.</p>

Lanjutan Tabel 2.3 Ringkasan Jurnal Referensi

	Judul	Metode	Hasil
12	<i>Cost Benefit Analysis for Condition Based Maintenance</i> (Verma et al., 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Dalam makalah ini, menyarankan sebuah model analisis benefit biaya dan meninjau strategi perawatan yang paling umum digunakan seperti perawatan korektif, TBM dan CBM dengan model. • Menyajikan sebuah metode untuk menghitung pendapatan bersih yang dihasilkan oleh mesin untuk mendapatkan alternatif yang optimal dan biaya yang hemat untuk perawatan mesin. 	Penelitian ini menyimpulkan bahwa meskipun CBM sebagai strategi perawatan memiliki biaya investasi awal yang tinggi tetapi menghasilkan pendapatan yang tinggi dibandingkan dengan kebijakan perawatan lainnya.
13	<i>The Development Of A Cost Benefit Analysis Method For Monitoring The Condition Of Batch Process Plant Machinery</i> (Rajan & Roylance, 1996)	<ul style="list-style-type: none"> • Menentukan dasar yang sesuai untuk menetapkan manfaat biaya mesin pabrik (penggunaan untuk pembuatan produk farmasi) • Dalam penyelidikan pendahuluan, model matematis telah dirancang untuk operasi pompa di seluruh pabrik. • data aktual yang diperoleh selama periode lima tahun dimana prediksi biaya pemeliharaan ditetapkan & kelayakan penggunaan strategi CBM diputuskan. 	Model sederhana dapat digunakan untuk memprediksi biaya perawatan bagi pompa, biaya ini terkait dengan biaya modal pompa. Kesepakatan antara biaya yang diprediksi dan biaya aktual menjadi semakin baik seiring kekuatan pompa meningkat

2.13 GAP Penelitian dan Posisi Penelitian

Berdasarkan tabel ringkasan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan persamaan dari ketiga belas jurnal diatas. Tabel 2.4 meunjukkan GAP penelitian yang terjadi dari jurnal- jurnal yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 2.4 GAP Penelitian *Condition Based Maintenance*

No	Judul	CBM	TBM	Penjelasan	Metode
1	<i>On condition based maintenance (Shin & Jun, 2015)</i>	√	-	Penerapan kebijakan CBM	CBM <i>policy</i>
2	<i>Clustering condition-based maintenance for systems with redundancy and economic dependencies (Keizer et al., 2016)</i>	√	-	Pengelompokkan CBM dengan memperhatikan ketergantungan ekonomi dan redundansi	<i>Dynamic programming model</i>
3	<i>On the Assessment of Performance and Robustness of Condition-Based Maintenance Strategies (A Grall, 2016)</i>	√	-	Mengembangkan cost model pada CBM yang mengukur performansi ekonomi dan redundansi (ketahanan)	PIR vs QIR
4	<i>The influence of practical factors on the benefits of condition-based maintenance over time-based maintenance (Jonge et al., 2017)</i>	√	√	Pengaruh TBM dan CBM	CBM vs TBM
5	<i>Timely condition-based maintenance planning for multi-component systems (Verbert et al., 2017)</i>	√	-	Mengurangi biaya dengan menggabungkan ketergantungan ekonomi dan structural	Perawatan untuk sistem heterogen (<i>multi component</i>)
6	<i>An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application (Ahmad & Kamaruddin, 2012b)</i>	√	√	Perbandingan TBM dan CBM	CBM vs TBM
7	<i>Effects of Condition Based Maintenance on Cost Caused by Unscheduled Maintenance of Aircraft (Gerdes et al., 2016)</i>	√	-	Efek biaya pada CBM akibat <i>unscheduled maintenance</i> (hanya memperhatikan <i>delay</i>)	CBM dan <i>preventive maintenance</i>

Lanjutan Tabel 2.4 GAP Penelitian *Condition Based Maintenance*

No	Judul	CBM	TBM	Penjelasan	Metode
8	<i>On establishing cost-effective condition-based maintenance (Exemplified for vibration-based maintenance in case companies) (Al-najjar, 2012)</i>	√	-	Menerapkan <i>cost effective</i> CBM	CM dan CBM/VBM
9	<i>Modelling condition monitoring intervals : A hybrid of simulation and analytical approaches ((W Wang, 2003)</i>	√	√	Pemodelan <i>condition monitoring intervals</i>	Pemodelan <i>condition monitoring intervals</i>
10	<i>Determining an Appropriate Condition-based Maintenance Strategy for Wind Turbines (Andrawus et al., 2006)</i>	√	√	Pemodelan CBM & TBM	Pemodelan CBM & TBM
11.	<i>Cost Effectiveness of Condition Based Maintenance in Manufacturing (Rastegari & Bengtsson, 2015a)</i>	√	-	Analisis biaya dan manfaat penerapan CBM	Analisis biaya CBM
12	<i>Cost Benefit Analysis for Condition Based Maintenance (Verma et al., 2013)</i>	√	√	Analisis benefit biaya menggunakan net revenue	Analisis net revenue
13.	<i>The Development Of A Cost Benefit Analysis Method For Monitoring The Condition Of Batch Process Plant Machinery (Rajan & Roylance, 1996)</i>	√	-	Model sederhana dapat digunakan untuk memprediksi biaya perawatan bagi populasi pompa dan kelayakan CBM	Kelayakan CBM
Penelitian Selanjutnya		-	√ TBM	Evaluasi TBM dalam rangka menurunkan biaya <i>maintenance</i> di mesin rajut	

Berdasarkan GAP penelitian, penelitian selanjutnya berupa evaluasi TBM dalam rangka menurunkan biaya *maintenance* dimana strategi CBM merupakan suatu alternative pilihan dalam upaya evaluasi TBM. Penelitian ini akan melakukan investasi mesin yang digunakan untuk *monitoring* seperti yang ada di penerapan CBM. Perlunya investasi pada evaluasi TBM seharusnya memberikan keuntungan di perusahaan.

Pemilihan komponen yang perlu penggunaan evaluasi TBM dimana *preventive maintenance* dilakukan sebagai strategi utama. Penting juga untuk melihat efek redundansi dimana sangat berpengaruh pada biaya. Penggantian komponen saat kegagalan terkadang masih memiliki redundansi yang baik. Selain itu, efek ketersediaan komponen dianggap penting karena untukantisipasi ketika keadaan kritis. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah QIR, penggunaan QIR menyarankan strategi perawatan yang tepat. Selain itu penting untuk melakukan pengelompokkan perawatan komponen dimana sangat berpengaruh pada biaya perawatan. Berdasarkan kesesuaian kondisi *real*, sangat sulit menentukan ketahanan jarum, sehingga dalam prakteknya jarum dibiarkan sampai patah lalu dilakukan pergantian.

Terdapat beberapa *alternative* yang bisa digunakan untuk *memonitor* keadaan mesin rajut. Tabel 2.5 menunjukkan beberapa jurnal yang menggunakan alat *monitoring* keadaan mesin rajut yang bisa digunakan sebagai referensi dalam penerapan evaluasi TBM di Perusahaan Sarung Tangan Rajut. Berdasarkan beberapa jurnal pada Tabel 2.5 dan juga melihat kondisi mesin rajut di perusahaan, penelitian ini menggunakan beberapa alternatif penerapan evaluasi TBM berdasarkan kondisi mesin rajut di Perusahaan Sarung Tangan Rajut:

1. Pemantauan berdasarkan getaran untuk mendeteksi adanya kerusakan jarum.
2. Menggunakan *needle controller* untuk mendeteksi jarum yang patah.
3. Pengukuran YTI (*yarn input tension*) dengan pemasangan sensor gaya.
4. Sensor untuk mendeteksi oli yang digunakan sebagai pelumas mesin.
5. Memonitor secara visual dengan pemasangan kamera untuk mendeteksi produk cacat.

Tabel 2. 5 Jurnal Penelitian *Knitting Process*

Judul	Metode	Sistem Pengukuran	Kesimpulan
<i>A new system for monitoring and analysis of the knitting process (Rocha & Soares, 2004)</i>	Membuktikan bahwa ada kemungkinan mendeteksi kegagalan dengan memeriksa bahan baku, khususnya <i>yarn input tension (YIT)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Knitlab (hardware dan software yang dipasang pada mesin rajut untuk memantau dan menganalisis proses rajutan) • Menggunakan parameter produksi <i>weft knitting YIT</i> • Sensor gaya untuk pengukuran YIT; sensor posisi untuk penentuan posisi, kecepatan dan parameter peting lainnya untuk produksi rajut; sensor optik digunakan untuk tujuan sinkronasi 	Kumpulan alat yang disajikan berhasil mendeteksi dan menemukan kesalahan pada produksi on line, sehingga berkontribusi untuk pengurangan <i>stop and repair</i> dan mampu mengurangi pakaian rajut yang cacat.
<i>Surveillance and control of the yarn input tension on circular weft knitting machines: new approach (Catarino & Rocha, 2004)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menyajikan perkembangan terakhir yang dibuat untuk memantau dan mengendalikan YIT. • Proyek ini terutama berkaitan dengan pemantauan proses merajut, untuk mendeteksi dan mengidentifikasi kesalahan, dan jika mungkin, untuk meramalkan kesalahan. 	Sistem pengukuran didasarkan pada sensor gaya, <i>assembled close to the feeding zone</i> , <i>encoders</i> dan sensor optik	<ul style="list-style-type: none"> • Kesimpulan dalam penelitian ini bahwa pendekatan yang digunakan memberikan kontribusi untuk mesin lebih produktif. • Memperkenalkan konsep baru tentang mesin rajut dengan menggunakan sistem informasi terpadu untuk semua perangkat penginderaan yang saling terhubung

Lanjutan Tabel 2.5 Jurnal Penelitian *Knitting Process*

Jurnal	Metode	Sistem Pengukuran	Kesimpulan
<i>A system for knitting process monitoring and fault detection on weft circular knitting machines (Catarino, Andre; Rocha, Ana; Monteiro J.L.; Soares, 2002)</i>	Penelitian dilakukan agar bisa secara otomatis membedakan penyebab dan lokasi kesalahan	Sistem ini dirancang sedemikian rupa sehingga tidak mempengaruhi struktur mesin rajut, dan pada dasarnya didasarkan pada sensor gaya, posisi dan sensor optik	Makalah ini menyajikan sebuah sistem pemantauan untuk <i>weft circular knitting machines</i> , yang mampu memberikan informasi tentang parameter produksi, dan terlebih lagi, untuk memeriksa proses rajutan dengan ketepatan yang tinggi. Sistem ini mampu menghasilkan satu set penting informasi yang relevan untuk meningkatkan produksi pakaian rajut sebagai solusi yang memberikan kontribusi untuk kualitas dan produktivitas.
<i>On-line fabric defect detection and full control in a circular knitting machine (Abou-Taleb & Sallam, 2007)</i>	Makalah ini menyajikan sebuah metode dan instrumen yang dikembangkan di Fakultas Tekstil untuk mendeteksi secara otomatis dan identifikasi cacat pada kain datar. Hal ini dimaksudkan untuk mengembangkan sistem pemantauan berbasis proses acak pada gambar video selama fase produksi.	<ul style="list-style-type: none"> • Penerangannya terdiri dari <i>fluorescent lamp</i> yang dipasang 45 derajat, permukaan spesimen 5 sampai terpisah 13 cm, dengan pembesaran adalah 6 ×. Gambar yang diambil dari kain rajutan terdiri dari RGB 24 (320 × 240) piksel, dan setiap piksel memiliki 256 tingkat abu-abu. • Komputer pribadi dan monitor layar 	Mendeskripsikan inspeksi kain yang dibantu oleh computer untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan cacat kain rajutan melingkar menggunakan metode pengenalan tekstur yang berbeda, termasuk analisis <i>thresholding</i> , radom transform, diskrit, transformasi Fourier dan Jaringan Syaraf Tiruan. Ditemukan bahwa penerapan metode transformasi Fourier diskrit dalam hal ini sangat menjanjikan untuk identifikasi kain rajutan yang cacat dengan tingkat keberhasilan keseluruhan 92%

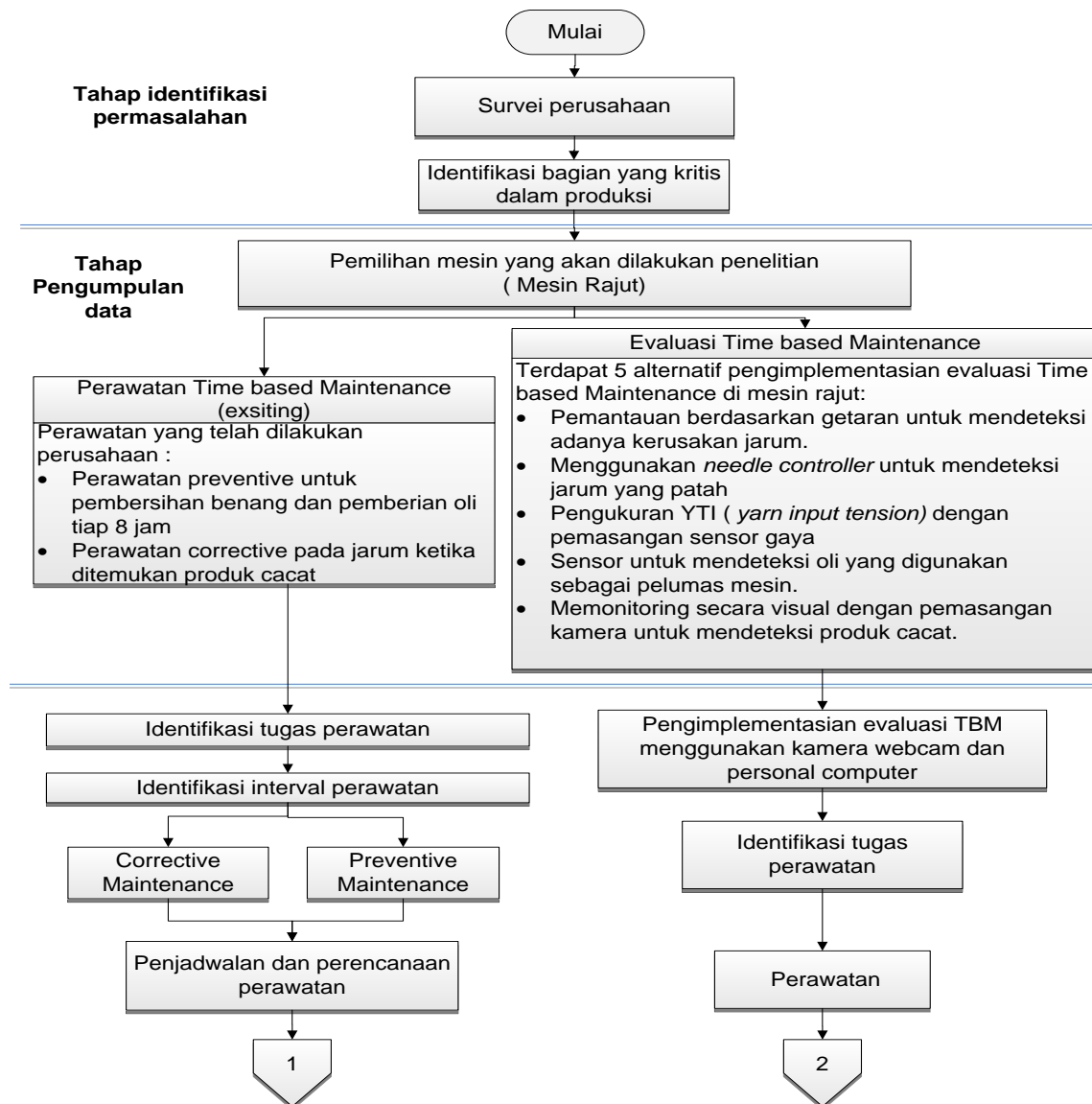
Lanjutan Tabel 2.5 Jurnal Penelitian *Knitting Process*

Jurnal	Metode	Sistem Pengukuran	Kesimpulan
<i>Auxiliary equipments for circular knitting machines (Plop, 2008)</i>	Peralatan bantu disusun dalam pengembangan proses merajut pada keseluruhan benang, masing-masing kain rajutan. Ada pertimbangan aspek ekologis dan juga memastikan kondisi untuk parameter kerja kontrol dan penyesuaian.	<ul style="list-style-type: none"> • Peralatan untuk memberi minyak dengan MEMMINGER-IRO, yang mengusulkan model PULSONIC 4-MEDI, yang memastikan memberikan minyak dengan bantuan sebuah jet minyak yang dilakukan di bawah tekanan, yang dibuat dengan pompa elektromagnetik. • Konsumsi bisa dihitung secara akurat. Prinsip oli didasarkan pada <i>reciprocating-rotary piston</i>. Lifting dan gerakan piston <i>rotary</i> dikendalikan oleh motor stepper. Setelah oli dinyalakan, motor stepper membalikkan piston ke titik pelumas 1. Dengan menggunakan sensor, posisi unit bisa ditetapkan 	Mesin melingkar yang sangat efektif tanpa adanya peralatan tambahan yang menjamin keandalan, produksi tinggi dan kualitas kain rajutan yang tinggi

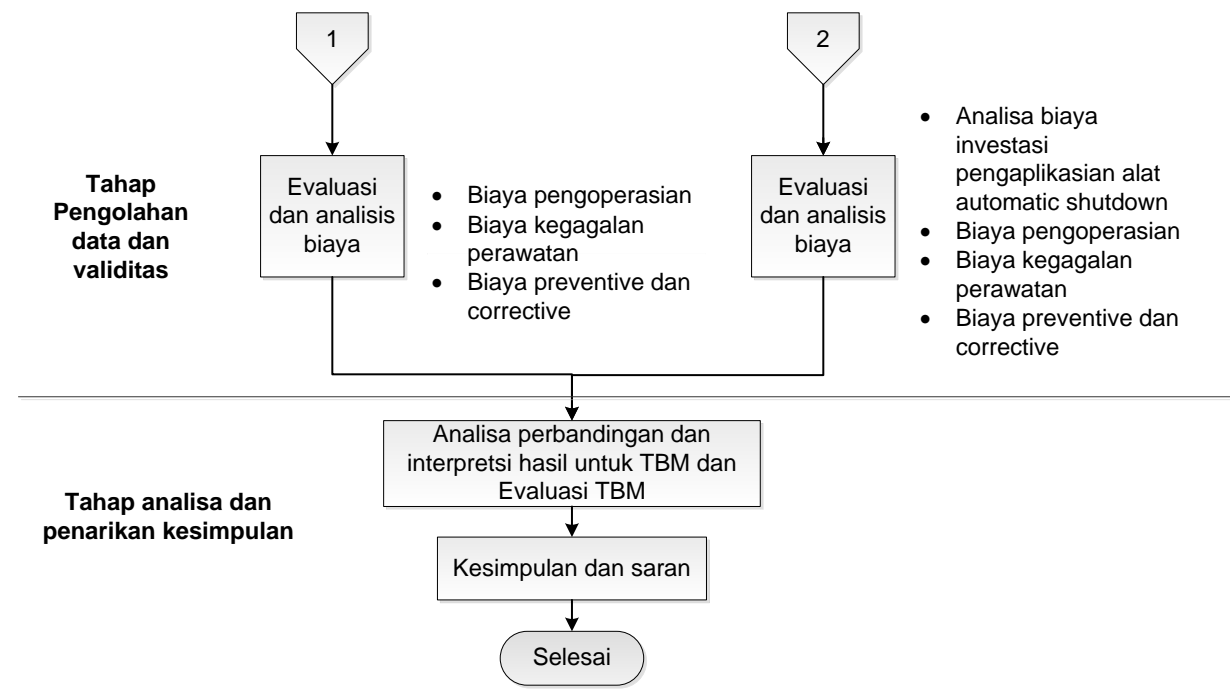
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah- langkah penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu identifikasi masalah, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data dan tahap analisa dan pembahasan. Penjelasan lebih lanjut diagram alir dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian TBM vs Evaluasi TBM



Lanjutan Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian TBM dan Evaluasi TBM

3.1. Literature Review

Literature review adalah tahapan pengumpulan *literature* yang berhubungan dengan ide penelitian yang ingin dilakukan. *Literature review* yang digunakan berupa *paper* yang didapatkan dari jurnal internasional dan digunakan untuk mendapatkan *gap* penelitian. Terdapat 9 *literature* utama berupa jurnal Internasional dan beberapa *literature* pendamping yang digunakan untuk menunjang pengembangan penelitian. Dari *gap* penelitian yang didapatkan selanjutnya didapatkan identifikasi permasalahan utama yang digunakan sebagai patokan dalam pengerjaan penelitian. Setelah didapatkan *gap* penelitian, maka tahapan selanjutnya adalah menyusun alur penelitian yang akan dilakukan.

3.2. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini digunakan beberapa aspek yang terkait dengan evaluasi *time based maintenance* untuk menekan biaya perawatan. Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data secara langsung dan tidak langsung. Data langsung merupakan data yang dikumpulkan secara langsung di lapangan. Pada penelitian ini, data langsung menggunakan metode observasi dan interview untuk melihat *assets* dari perusahaan dengan analisis kritis. Sedangkan data yang tidak langsung adalah data yang dikumpulkan menggunakan data sekunder atau data yang didapat dari pihak perusahaan. Pada penelitian ini, data tidak langsung didapat dari perusahaan tentang data *existing* kegagalan yang membantu mengambil keputusan untuk teknik yang digunakan dan data

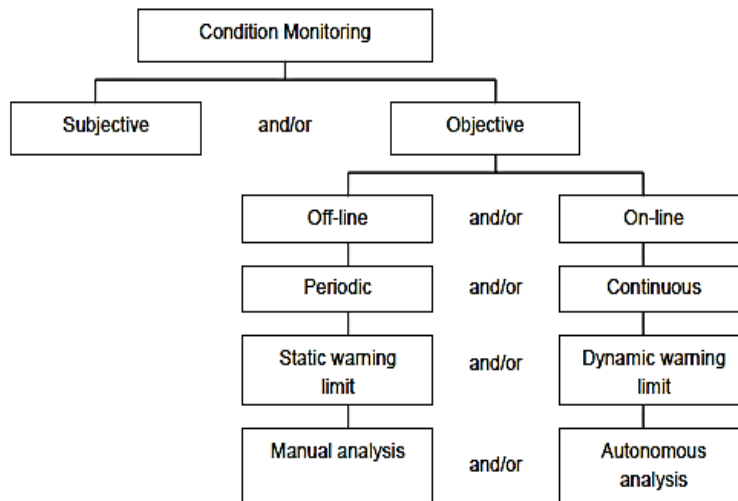
history mesin untuk menentukan strategi perawatan tradisional (TBM) dan data bahan yang digunakan untuk pembuatan sarung tangan rajut.

Berdasarkan observasi dan *interview* di Perusahaan Sarung Tangan Rajut, mesin yang penting dan bisa dilakukan evaluasi *time based maintenance* yaitu mesin rajut. Proses rajut merupakan proses awal dan krusial karena berpengaruh terhadap hasil dari proses berikutnya. Terdapat 308 mesin rajut yang terdapat pada perusahaan tetapi penelitian ini hanya mengimplementasikan 77 mesin rajut yang akan diterapkan untuk evaluasi penerapan TBM. Banyaknya produk cacat di mesin rajut dikarenakan adanya jarum patah yang tidak teridentifikasi dengan cepat dan terus memproduksi produk cacat. Data TBM yang dilakukan perusahaan berupa perawatan *preventive* pada oli dan pembersihan benang pada mesin yang dilakukan tiap pergantian *shift* yaitu 8 jam sekali. Perawatan *corrective* dilakukan pada jarum yang patah dengan melihat sarung tangan yang cacat.

3.3. Implementasi Evaluasi *Time based Maintenance*

Sebelum evaluasi *time based maintenance* pada suatu mesin, perlu dilakukan penentuan peralatan yang akan digunakan. Penentuan peralatan tersebut bisa didasarkan beberapa hal misalnya masalah keselamatan jika mesin itu mengalami kerusakan, terganggunya kegiatan produksi jika mesin tersebut rusak dan banyaknya produk cacat yang dihasilkan. Setelah ditentukan peralatan yang akan dilakukan evaluasi *time based maintenance* lalu menentukan teknologi yang sesuai dengan peralatan tersebut. Permasalahan yang ada di perusahaan sarung tangan rajut adalah banyaknya produk cacat yang disebabkan karena adanya jarum patah yang tidak teridentifikasi dengan cepat sehingga tetap memproduksi produk cacat di mesin rajut.

Salah satu *alternative* evaluasi *time based maintenance* adalah penggunaan *condition based maintenance* (CBM). Secara umum tahapan awal CBM adalah *condition monitoring*. Tujuannya untuk mengindikasikan kondisi dari peralatan dari sistem. *Condition monitoring* dapat dilakukan menggunakan beberapa pendekatan dan menggunakan level teknologi yang berbeda. Tujuan untuk mengumpulkan data informasi kondisi peralatan termasuk didalamnya vibrasi, *acoustic*, temperature, signal tertentu, oil dan *lubricant data* dan proses mengumpulkan data untuk meningkatkan pengetahuan pada *equipment deterioration patterns*. *Condition monitoring* dapat dilakukan secara *online (operating state)* maupun *off-line* (Ahmad & Kamaruddin, 2012a). Gambar 3.2 merupakan perbandingan pendekatan *condition monitoring* menurut Bengtsson (2007).



Gambar 3.2 *Different Approaches To Condition Monitoring* (Bengtsson, 2007)

Hasil dari evaluasi TBM tersebut berupa identifikasi tugas perawatan, interval perawatan dan penjadwalan & perencanaan. Pengimplementasian strategi untuk evaluasi TBM dengan mengadaptasi CBM dapat dilakukan secara *periodic* maupun *continuous*. Salah satu strategi yang bisa digunakan yaitu strategi PIR (*periodic based replacement*) dan QIR (*quartile based replacement*). Dari beberapa *literature* yang ada, dijelaskan bahwa strategi QIR lebih unggul ketahanan suatu komponen dan juga dapat mengontrol sistem lebih efisien.

Berdasarkan beberapa jurnal pada Tabel 2.5 dan juga melihat kondisi mesin rajut di perusahaan, penelitian ini menggunakan beberapa *alternative* evaluasi TBM dengan mengacu pada strategi CBM untuk *memonitor* berdasarkan kondisi mesin rajut di Perusahaan Sarung Tangan Rajut:

1. Pemantauan berdasarkan getaran untuk mendeteksi adanya kerusakan jarum.
2. Menggunakan *needle controller* untuk mendeteksi jarum yang patah
3. Pengukuran YTI (*yarn input tension*) dengan pemasangan sensor gaya
4. Sensor untuk mendeteksi oli yang digunakan sebagai pelumas mesin.
5. Memonitoring secara visual dengan pemasangan kamera untuk mendeteksi produk cacat.

Penerapan evaluasi TBM yang mengadaptasi penerapan CBM untuk *memonitor* secara *real time* atau *periodic* kondisi mesin rajut di Perusahaan Sarung Tangan Rajut dengan mempertimbangkan keadaan di lapangan dan jurnal- jurnal referensi yang ada. Identifikasi jarum patah sangat susah dilakukan karena terdapat banyak faktor sehingga penerapan evaluasi TBM menggunakan *automatic shutdown* di mesin rajut dengan melihat produk cacat dengan menggunakan kamera webcam yang akan di transfer ke *personal computer* menggunakan *image processing* untuk mengidentifikasi cacat dan akan memberi perintah ke mesin rajut untuk mematikan mesin ketika ada produk cacat.

3.4. Evaluasi Biaya TBM untuk Menurunkan Biaya *Maintenance*

Evaluasi biaya TBM berdasarkan keadaan *existing* dan evaluasi TBM dengan penerapan *automatic shutdown* dilakukan dengan pemodelan biaya berdasarkan beberapa literatur terdahulu. Pada tahap evaluasi, proses penelitian yang dilakukan adalah memeriksa kondisi sistem saat ini. Pada tahap ini akan diidentifikasi pengimplementasian evaluasi TBM menggunakan *automatic shutdown* dari segi biaya dibandingkan dengan biaya yang diperlukan saat menggunakan TBM (*existing*) termasuk didalamnya biaya kegagalan yang terjadi.

Beberapa biaya yang termasuk dalam biaya perawatan secara TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dimana mengadaptasi pada penerapan CBM dalam rangka memonitor kondisi secara *real time* atau *periodic* yang membutuhkan investasi mesin berdasarkan referensi yang ada sebelumnya dan disesuaikan dengan keadaan yang ada di perusahaan sarung tangan rajut. Ketika mempertimbangkan biaya investasi mesin maka akan dihitung menggunakan analisis nilai sekarang untuk melihat kelayakan ekonomis berdasarkan *discount rate* dan *economic life* dari mesin yang diinvestasikan.

Analisa biaya perawatan TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) untuk melihat biaya yang terendah dapat dilakukan dengan menggunakan *present worth analysis* berdasarkan waktu *economic life* dari investasi mesin yang dilakukan. Setelah menentukan *economic life*, maka akan dihitung biaya evaluasi TBM (*automatic shutdown*) selama *economic life* dibandingkan dengan biaya TBM selama *economic life*.

3.5. Analisa dan Interpretasi Hasil

Pada tahap ini akan dilakukan analisa terhadap hasil yang didapat dari pengimplementasian TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang mengacu pada penerapan CBM untuk melakukan *monitoring* kondisi secara *real time* atau *periodic* dilihat dari segi biaya. Tahap validasi pengembangan model biaya dapat dilakukan secara internal maupun eksternal. Pada penelitian ini menggunakan validasi internal sehingga menggunakan logika berpikir apakah sesuai penerapannya di dalam kondisi *real* dengan mempertimbangan enam jurnal yang menggunakan pemodelan biaya. Kemudian dilakukan pembahasan yang berkaitan dengan analisis perbandingan pemodelan biaya antara perawatan tradisional (TBM) dengan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang mengacu pada penerapan CBM.

3.6. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil keseluruhan tahapan penelitian yang telah dilakukan di atas dapat ditarik kesimpulan dari permasalahan yang ada dan sesuai dengan tujuan yang telah diterapkan. Kemudian akan diberikan saran perbaikan untuk pengembangan penelitian di masa datang.

BAB IV

PEMODELAN BIAYA *MAINTENANCE*

Bab ini akan menjelaskan tentang pemodelan biaya untuk TBM (*existing*) dan penerapan evaluasi TBM dalam rangka menurunkan biaya *maintenance* berdasarkan enam referensi yang telah digunakan.

4.1 Pemodelan Biaya

Pada penelitian ini menggunakan enam referensi yang digunakan sebagai dasar pemodelan biaya. TBM (*existing*) dan evaluasi penerapan TBM yang mengadaptasi CBM dalam rangka *monitor* secara *real time* atau *periodic*. Jurnal yang ditulis oleh Antoine Grall et al. (2002) membahas mengenai biaya yang termasuk dalam perawatan dan jurnal yang ditulis Higgins et al. (2002) menjelaskan bahwa biaya perawatan dibagi menjadi *repair policy* dan menggunakan *preventive policy*. Terdapat empat jurnal yang membahas TBM dan CBM. Jurnal pertama ditulis oleh Andrawus et al. (2006) membahas penerapan CBM di *wind turbines*, jurnal kedua ditulis oleh Rastegari & Bengtsson (2015a) membahas penerapan biaya yang efektif untuk strategi CBM, jurnal ketiga ditulis oleh Verma et al. (2013) membahas mengenai *net revenue* untuk CBM, TBM dan *corrective maintenance*, dan jurnal keempat ditulis oleh Rajan & Roylance (1996) membahas mengenai model matematis dan kelayakan CBM.

4.1.1 Pemodelan Biaya Perawatan

Menurut penelitian Antoine Grall et al. (2002), beberapa biaya yang ada dalam biaya perawatan yaitu biaya *preventive replacement* (C_p), biaya *corrective replacement* (C_c), biaya *downtime* (C_d) dan biaya inspeksi (C_i). Secara umum biaya perawatan ditunjukkan pada persamaan (4-1) :

$$\begin{aligned} \text{Biaya perawatan} &= \text{Biaya inspeksi} + \text{biaya } \textit{preventive replacement} + \text{biaya } \textit{corrective} \\ &\quad \textit{replacement} + \text{biaya } \textit{downtime} \\ C(t) &= C_i \cdot N_i(t) + C_p \cdot N_p(t) + C_c \cdot N_c(t) + C_d \cdot d(t) \end{aligned} \quad (4-1)$$

4.1.2 Strategi CBM untuk *Wind Turbines*

Berdasarkan penelitian Andrawus et al. (2006) mengenai TBM dan CBM pada *wind farms*. Perawatan TBM melibatkan perawatan interval secara reguler yang telah ditentukan sebelumnya dan *Failure-Based Maintenance* (FBM) yang melibatkan penggunaan turbin angin

sampai mengalami kegagalan. Namun, terdapat dampak dari konsekuensi kegagalan pada pendapatan. Pemeliharaan CBM yang sesuai diidentifikasi dan dinilai selama siklus hidup turbin angin dengan menggunakan *Asset Life-Cycle Analysis technique* untuk memaksimalkan laba investasi pada *wind farms*. Asumsi yang digunakan pada penelitian Andrawus et al.(2006) adalah:

1. Diterapkan pada *onshore wind farm*
2. Data kegagalan dan historis pemeliharaan pada 8 komponen kritis sistem *supervisory control and data acquisition* (SCDA) selama 6 tahun.
3. Pemadaman listrik turbin angin berkapasitas 600 kW (pada faktor kapasitas 33% dan nilai energi £ 50 / MWh) akan menyebabkan hilangnya pendapatan sekitar £ 237,60 / hari.
4. *A month downtime* pada 33% dan faktor kapasitas 36% akan menghasilkan kerugian pendapatan sebesar £ 7,128 dan £ 7.776, kira-kira 8% dari total pendapatan tahunan.
5. Pengaruh dua atau lebih kegagalan turbin pada pendapatan akan meningkat secara signifikan. Implementasi strategi *maintenance* kegagalan dimana sejumlah turbin angin diizinkan untuk gagal sebelum perbaikan dilakukan akan mengakibatkan hilangnya pendapatan yang sangat besar disamping berpengaruh pada jaringan listrik dan biaya komponen penggantian.
6. *Lead time* untuk memasok sebagian besar komponen penting berkisar antara 3-4 bulan.
7. Menggunakan CBM yaitu analisis vibrasi.
8. *Economic life* dari turbin 20 tahun. Namun, periode analisis 18 tahun digunakan dalam perhitungan dengan memperhitungkan kontrak *all-in-service* 2 tahun selama pembelian turbin angin dan keusangan dengan teknologi yang berubah.
9. Menggunakan tingkat bunga 8,2% untuk semua evaluasi ekonomi yang digunakan dalam analisis untuk menghitung faktor diskon yaitu nilai sekarang per tahun (PWA) dan *present worth* (PW)

Persamaan (4-2) – (4-12) adalah pemodelan biaya menurut Andrawus et al.(2006) yang dilakukan pada *wind turbines*:

$$\text{Cost of TBM} = \text{annual cost of inspection} + \text{annual cost reservation} \quad (4- 2)$$

$$\text{Failure consequence} = \text{total cost of production losses} + \text{total cost of material} + \text{total cost of labor} + \text{total cost of access}$$

$$F_C = TC_{PL} + TC_{MT} + TC_{LB} + TC_{AS} \quad (4- 3)$$

Total cost production losses = number of working days x 24 x wind turbine power rating kW x cost of energy per kWh x capacity factor

$$TC_{PL} = N_{dy} \times 24 \times WT_{PR} \times C_{EH} \times C_f \quad (4- 4)$$

$$Capacity\ factor = \frac{total\ energy\ out\ put\ in\ time\ T}{wind\ turbine\ power\ rating\ kW \times period\ under\ consideration}$$

$$C_f = \frac{E_{OP}}{WT_{PR} \times T} \quad (4- 5)$$

Total cost of production losses = number of working days x 24 x wind turbine power rating kW x cost of energy per kWh x

$$TC_{PL} = N_{dy} \times 24 \times WT_{PR} \times C_{EH} \times \left(\frac{E_{OP}}{WT_{PR} \times T} \right)$$

substitusi (4-4)&(4-5) = (4- 6)

Total cost of material = (cost of material + cost of transportation + cost of loading + cost of offloading) x (1 + $\frac{value\ added\ tax}{100}$)

$$TC_{MT} = (C_{MT} + C_{TP} + C_{Ld} + C_{OLd}) \left(1 + \frac{V_{AT}}{100} \right) \quad (4- 7)$$

Total cost of labour = number of working days x number of person x work hours per day x labour rate per hour

$$TC_{LB} = N_{dy} \times N_{Pn} \times W_{hr} \times L_{RT} \quad (4- 8)$$

Total cost of access = (cost of holding x number of working days) x (cost of holding x number of working days)

$$TC_{AS} = (C_{hd} + N_{dy}) \left(C_{hd} \times N_{dy} \times \frac{V_{AT}}{100} \right) \quad (4- 9)$$

Failure consequence = (number of working days x 24 x wind turbine power rating kW x cost of energy per kWh x $\frac{total\ energy\ out\ put\ in\ time\ T}{wind\ turbine\ power\ rating\ kW \times period\ under\ consideration}$) + (number of working days x number of person x work hours per day x labour rate per hour) + (number of working days x number of person x work hours per day x labour rate per hour) + ((cost of holding x number of working days) x (cost of holding x number of working days x $\frac{value\ added\ tax}{100}$)))

$$\begin{aligned}
F_c = & \left(N_{dy} \times 24 \times WT_{PR} \times C_{EH} \times \left(\frac{E_{OP}}{WT_{PR} \times T} \right) \right) + \left((C_{MT} + C_{TP} + C_{Ld} + \right. \\
& C_{OLd}) \left(1 + \frac{V_{AT}}{100} \right) \left. \right) + (N_{dy} \times N_{Pn} \times W_{hr} \times L_{RT}) + \left((C_{hd} + \right. \\
& N_{dy}) \left(C_{hd} \times N_{dy} \times \frac{V_{AT}}{100} \right) \left. \right) \quad (4-10)
\end{aligned}$$

Annual cost reservation = failure rate x failure consequence x number of turbines in a wind farm

$$A_{CR} = \alpha F_c N_T \quad (4-11)$$

Cost of CBM = Total capital cost of CM + Annual maintenance cost of CM + Annual cost of servicing turbines (4-12)

Dimana:

A_{CR} = *annual cost reservation*

C_{MT} = *Biaya material*

C_{TP} = *Biaya transportasi*

C_{Ld} = *Biaya loading*

C_{OLd} = *Biaya offloading*

C_f = *capacity factor*

C_{EH} = *Biaya energi tiap kWh*

W_{hr} = *Jumlah jam kerja per hari*

V_{AT} = *value added tax*

L_{RT} = *Biaya tenaga kerja per jam*

T = *period under consideration*

TC_{PL} = *Total biaya production losses*

TC_{MT} = *Total biaya material*

TC_{LB} = *Total biaya tenaga kerja*

TC_{AS} = *Total biaya access*

F_c = *Konsekuensi kegagalan*

N_{dy} = *Jumlah hari kerja*

WT_{PR} = *Tingkat daya wind turbine*

E_{OP} = *Total energy keluar T*

N_{Pn} = *Jumlah tenaga kerja*

N_T = *jumlah turbines di wind farm*

α = *Tingkat kegagalan*

4.1.3 Biaya Efektif dari Penerapan CBM

Penelitian yang dilakukan oleh Rastegari & Bengtsson (2015) untuk mengetahui potensi penghematan bagi perusahaan manufaktur dengan menerapkan CBM dalam proses *hardening* dan *machining processes*. Beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam analisis biaya perawatan yaitu *capital loss cost* dan *production loss cost*. Pemodelan biaya yang dilakukan berfokus pada biaya yang efektif pada CBM. Dua model biaya dari literatur yang digunakan telah digabungkan dan digunakan untuk menggambarkan perbedaan antara biaya perawatan tahunan dengan dan tanpa CBM.

Faktor yang dilihat untuk mengindikasikan keuntungan CBM yaitu mengurangi *losses* karena kerusakan peralatan, *production loss*, *quality loss*, *environmental loss* dan *safety loss*. Potensial penghematan dalam pengimplementasian CBM yaitu pengurangan probabilitas dari kerusakan maksimal di peralatan produksi dan pengurangan *production losses* dari volume produksi yang tinggi. Asumsi yang digunakan:

1. *Non- realized revenue* tidak dimasukkan dalam biaya perawatan tidak langsung. Sehingga total biaya pemeliharaan terdiri dari 50% biaya perawatan langsung dan 50% biaya perawatan tidak langsung.
2. Tidak memasukkan biaya tenaga kerja karena biaya pembersihan, *disassemble assemble* untuk kerusakan yang minimal maupun maksimal tetap sama.

Persamaan (4-13)- (4-20) adalah pemodelan yang dilakukan oleh Rastegari & Bengtsson (2015) untuk mengetahui potensi penghematan bagi perusahaan manufaktur dengan menerapkan CBM dalam proses *hardening* dan *machining processes*. Biaya yang masuk didalamnya adalah *capital loss*, *production loss*, *quality loss*, *safety loss*, *customer satisfaction loss* dan *environment loss*.

Total cost due to machine damage = *Capital loss (machine repair cost)* + *Production loss* + *Quality loss* + *Safety loss* + *Customer satisfaction loss* + *Environmental loss*

$$L_{TOT} = L_C + L_P + L_Q + L_S + L_{CS} + L_E \quad (4- 13)$$

Capital loss (machine repair cost) = (*mean time to repair* x *Labour rate*) + *Mean spares cost* + *Secondary damage cost*

$$L_C = (MTTR \times C_L) + C_s + C_D \quad (4- 14)$$

Damage reduction value with CBM =

$$\frac{\text{Current probability of maximal damage (\%)} \times \text{Maximal damage cost} \times \text{Current value of investment in equipment}}{\text{mean time between repairs}}$$

$$\sum \Delta K_{TOT} = \frac{\Delta f_{max} \times \Delta K_{mat} \times \sum Inv}{MTBR} \quad (4- 15)$$

Current probability of maximal damage (%) = $e^{-\left(\frac{time}{mean\ time\ between\ failures}\right)}$

$$f_{max} = e^{-(t/MTBF)} \quad (4- 16)$$

Production loss = *mean time to repair* x *mean product price* x *Mean production rate*

$$L_P = MTTR \times P_P \times R_P \quad (4- 17)$$

Quality loss = *mean time to repair* x *Mean production rate* x *Reduction in product price*

$$L_Q = MTTR \times R_P \times P_{RP} \quad (4- 18)$$

Safety loss = cost of fines for breaches of regulations when an asset fail injures an employee + cost of compensation for an injured employee

$$L_S = C_{SF} + C_C \quad (4- 19)$$

Customer satisfaction loss = cost of fines for late delivery + cost of lost business to a competitor due to late orders

$$L_{CS} = C_F + C_{LB} \quad (4- 20)$$

Dimana:

L_{TOT} = Totall biaya karena kerusakan mesin

$MTTR$ = mean time to repair

L_C = Capital loss (machine repair cost)

C_L = Labour rate

L_P = Production loss

C_S = Mean spares cost

L_Q = Quality loss

C_D = Secondary damage cost

L_S = Safety loss

P_P = rata- rata harga produk

L_{CS} = Customer satisfaction loss

R_P = Rata- rata tingkat produksi

L_E = Environmental loss

P_{RP} = Pengurangan harga produk

$MTBF$ = mean time between failures

C_F = cost of fines for late delivery

$MTBR$ = mean time between repairs

ΔK_{TOT} = Pengurangan kerusakan karena CBM/ pengurangan kerusakan karena CBM untuk semua mesin dalam satu grup

Inv = Current value of investment in equipment

f_{max} = Current probability of maximal damage (%)

$K_{mat, min}$ = Minimal biaya kegagalan (in percentage of the current value of investment of the equipment)

$K_{mat, max}$ = Maximal biaya kegagalan (in percentage of the current value of investment of the equipment)

C_{SF} = cost of fines for breaches of regulations when an asset fail injures an employee

C_{LB} = cost of lost business to a competitor due to late orders

C_C = cost of compensation for an injured employee

4.1.4 Pemodelan Cost Benefit Analysis

Penelitian yang dilakukan oleh Verma et al. (2013) menggunakan pemodelan *cost benefit analysis* untuk CBM, TBM dan *corrective maintenance*. Menghitung *net revenue* (menggunakan *labor cost, failure rate, utilization factor etc*) dari mesin dan biaya *alternative* yang efektif dari

perawatan mesin. Untuk menghitung pendapatan bersih dari mesin, beberapa biaya yang perlu dipertimbangkan adalah:

1. *Labour cost*

Labor cost = break down time x number of man hours x average cost per man hour

$$LBC_{i,j,k} = BDT_{i,j,k} \times NMHR_{i,j,k} \times AVCPMH_{i,j,k} \quad (4-21)$$

$i, j, k = i^{th}$ machine for j^{th} machine strategy k^{th} fault

$LBC_{i,j,k}$ = biaya tenaga kerja of i^{th} machine for j^{th} machine strategy k^{th} fault

$BDT_{i,j,k}$ = waktu *break down*

$NMHR_{i,j,k}$ = jumlah tenaga kerja

$AVCPMH_{i,j,k}$ = average cost per man hour

Pemodelan *labour cost* tanpa *break down time*

Labor cost = number of man hours x average cost per man hour

$$LBC_{i,j,k} = NMHR_{i,j,k} \times AVCPMH_{i,j,k} \quad (4-22)$$

2. *Break down time*

Break down time yang ada pada persamaan (4-21) merupakan waktu dimana mesin tidak bekerja. *Break down* (TRL) berbeda dari *number of man hours* untuk memperbaiki mesin.

Break down time = break down time x revenue generated per hour of machine

$$TRL_{i,j,k} = BDT_{i,j,k} \times RGPH_{i,j,k} \quad (4-23)$$

$RGPH$ = revenue generated per hour of machine

3. *Net revenue*

$NETREVENUE = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^S \sum_{k=1}^F \{ \text{life time of } i^{th} \text{ machine x revenue generated per hour of machine} \} - \{ \text{break down time x number of man hours x average cost per man hour} \} + \{ \text{spare parts cost x break down time x revenue generated for the } i^{th} \text{ machine} \}$

$$NETREVENUE = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^S \sum_{k=1}^F \{ LT_i \times RGPH_i \} - \{ IIC_{i,j,k} \times FMC_{i,j,k} \} + \{ BDT_{i,j,k} \times NMHR_{i,j,k} \times AVCPMH_{i,j,k} \} + \{ SPC_{i,j,k} \times BDT_{i,j,k} \times RGPH_i \} \quad (4-24)$$

LT_i = life time of i^{th} machine

$RGPH_i$ = revenue generated for the i^{th} machine

$SPC_{i,j,k}$ = biaya spare part

$IIC_{i,j,k}$ = the initial investment cost

$FMC_{i,j,k}$ = biaya perawatan (*fixed*)

$BDT_{i,j,k}$ = waktu *break down*

Ketika menerapkan biaya *labour cost* tanpa *breakdown time* maka analisa model pendapatan mesin menjadi:

$$\begin{aligned}
 NETREVENUE &= \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^S \sum_{k=1}^F \{ \text{life time of } i^{th} \text{ machine } \times \text{revenue generated per hour} \\
 &\quad \text{of machine} \} - \{ \text{the initial investment cost } \times \text{the fixed maintenance cost} \} \\
 &\quad + \{ \text{spare parts cost } \times \text{break down time } \times \text{revenue generated for the} \\
 &\quad i^{th} \text{ machine} \} \\
 NETREVENUE &= \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^S \sum_{k=1}^F \{ LT_i \times RGPH_i \} - \{ IIC_{i,j,k} \times FMC_{i,j,k} \} + \\
 &\quad \{ NMHR_{i,j,k} \times AVCPMH_{i,j,k} \} + SPC_{i,j,k} \times BDT_{i,j,k} \times RGPH_i \} \quad (4- 25)
 \end{aligned}$$

Perubahan biaya tenaga kerja berdampak secara keseluruhan terhadap peningkatan pendapatan,

4. Failure rate λ

Tingkat kegagalan λ dalam keandalan pemeliharaan mesin akan membantu meningkatkan pendapatan bersih, yang mana menunjukkan jumlah kegagalan mesin dalam waktu hidupnya. Jika tingkat kegagalan mesin diketahui maka bisa digunakan untuk memaksimalkan waktu hidup mesin. Tingkat kegagalan berdampak pada total pendapatan yang hilang dalam perhitungan pendapatan bersih.

5. Individual component failure

Mesin memiliki beberapa komponen didalamnya, maka tingkat kegagalan komponen individual λ_{IC} dapat dihitung yang mana bergantung dari waktu untuk kegagalan komponen T_λ dan keseluruhan waktu kerja mesin U_t . Pergantian bagian mesin yang rusak untuk mengurangi biaya investasi dan biaya breakdown time. Penggantian yang diketahui dari masing masing bagian mesin dapat meningkatkan pendapatan bersih

Tingkat kegagalan komponen individual = $\frac{\text{waktu kegagalan komponen}}{\text{waktu kerja mesin}}$

$$\lambda_{IC} = \frac{T_\lambda}{U_t} \quad (4- 26)$$

6. Repair rate

Tingkat perbaikan tidak sama dengan tingkat kegagalan. Dengan kenaikan kegagalan, tingkat perbaikan meningkat secara eksponensial.

$$\text{Repair rate } f(t, \lambda) = \lambda e^{\beta t + c} \quad (4- 27)$$

7. *Utilization factor*

Efektivitas mesin dihitung dengan menggunakan U_F .

$$U_F = \frac{\lambda}{f(t, \lambda)} \quad (4-28)$$

8. *Expected up time of machine U_t*

U_t merupakan jumlah waktu yang diharapkan dimana mesin bekerja dengan baik

9. *Expected down time of machine*

Jumlah waktu dimana mesin tidak berfungsi menyebabkan kerugian pendapatan akan turun

$$D_t = \text{total life time of machine} - U_t \quad (4-29)$$

10. *Improved net revenue*

Tingkat perbaikan berdampak pada biaya tenaga kerja. Tingkat kegagalan berdampak pada *break down time* sehingga termasuk dalam TRL

$$\text{Net Revenue} = \{(LT \times RGPH) - [IIC + FMC + (f(t, \lambda) \times NMHR \times AVCPMH) + SPC + (\lambda \times BDT \times RGPH)]\} \quad (4-30)$$

Asumsi yang digunakan dalam jurnal ini adalah sebagai berikut:

- Reciprocating air compressor* untuk menghitung *net revenue* dengan tiga strategi perawatan (*time based maintenance*, *corrective maintenance* dan *conditional based maintenance*) dimana parameter yang digunakan sama.
- Corrective maintenance* dijalankan dengan menunggu sampai mesin mengalami kegagalan. *Breakdown time* berbeda dengan jumlah *man hours* yang dibutuhkan untuk perbaikan mesin.
- TBM menggunakan interval waktu yang konstan untuk perbaikan mesin. Jumlah *man hours* tidak sama dengan *break down time*.
- CBM mesin diamati sesuai kondisi dan jumlah *man hour* tidak sama dengan *break down time*.
- Waktunya memperbaiki mesin termasuk waktu menunggu agar pekerja perbaikan tiba di tempat sehingga waktu perbaikan dan jumlah jam kerja mesin tidak sama dengan yang dipertimbangkan.

4.1.5 *Cost Benefit Analysis untuk Monitoring Kondisi pada Batch Process Plant Machinery*

Penelitian Rajan & Roylance (1996) merancang model matematis untuk operasi pompa seluruh perusahaan. Hal ini didasarkan pada data aktual yang diperoleh selama periode lima tahun dimana prediksi biaya pemeliharaan ditetapkan dan kelayakan penggunaannya berbasis

kondisi. Penambahan komponen biaya dalam pemeliharaan mesin seperti tingkat kegagalan, individu tingkat kegagalan komponen; selanjutnya meningkatkan pendapatan yang dihasilkan oleh sebuah mesin. Tiga formulasi pendapatan bersih yang berbeda dengan jelas menunjukkan perlunya persamaan analisis biaya yang tepat. CBM memberikan informasi tentang tingkat kegagalannya sehingga tingkat perbaikan meningkatkan pendapatan bersih secara radikal. CBM adalah pilihan biaya efektif dan menghasilkan lebih banyak pendapatan, dibanding yang lain strategi pemeliharaan. Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Menggunakan pompa yang dilengkapi pemantau getaran. Semua pompa dilengkapi dengan mode *stand by* sehingga kegagalan tidak menimbulkan biaya konsekuensi
2. Volume produk rendah tetapi nilainya sangat tinggi
3. Sebagian besar produksi menggunakan sistem batch dan terdapat *idle time* untuk mesin tiap pergantian batch
4. Kualitas dari produk sangat tepat dan semua mesin menggunakan parameter yang ketat sehingga menjamin kualitas produk yang konsisten
5. Biaya servis dinilai berdasarkan tiga kriteria utama untuk mengetahui total biaya
6. Biaya *capital* dari peralatan menggunakan *discounted cash flow* selama 10 tahun periode
7. Biaya tenaga kerja dibagi menjadi dua yaitu pemantau getaran tingkat rendah dan teknisi
8. Biaya pemeliharaan *software* dan peralatan. Untuk *vibration monitoring* tanpa biaya pemeliharaan sejak pertama pembelian. Tetapi nominal keseluruhan diambil (5% dari harga pembelian per tahun) untuk biaya masa depan.

Pemodelan matematis yang dilakukan penelitian (Rajan & Roylance, 1996) menggunakan dua bagian:

- a. Biaya kerusakan mesin itu sendiri
- b. Konsekuensi biaya untuk proses/ produk

Biaya langsung *machine breakdown* = *Initial cost* dikoreksi tiap hari x indeks daya x indeks kritis x indeks proses x faktor langsung

$$C_d = C_i \times I_p \times I_c \times I_{pr} \times K_d \quad (4-31)$$

Dimana:

C_d = Biaya langsung *machine breakdown*

C_i = *Initial cost* dikoreksi tiap hari

I_c = Indeks kritis (ukuran seberapa kritis mesin terhadap prosesnya, menggunakan skala 1- 10)

I_p = Indeks daya (hubungan power dengan biaya, menggunakan skala 1-10)

I_{pr} = Indeks proses (banyaknya nilai yang telah ditambahkan ke produk dari keseluruhan proses, menggunakan skala 1-10)

K_d = Faktor langsung (data deviasi untuk pompa yang lebih besar bisa mengalami kemunduran dalam waktu yang lama dibandingkan pompa kecil dapat dibuktikan dengan kurva dan $y=MAx + b$)

Frekuensi *breakdown* dihitung dari

$$R(t) = \text{cumulative probability function of occurrence of survival} \quad (4-32)$$

Biaya perawatan yang direncanakan dan biaya inspeksi dihitung dengan menggunakan standar perusahaan untuk tarif per jam dan harga untuk suku cadang. Biaya modal diambil dari catatan perusahaan dan disesuaikan dengan inflasi. Angka-angka ini kemudian dibandingkan dengan mesin baru yang sama dari produsen sehingga bisa diperoleh yang terbaik dalam metode ini. Penghematan biaya tiap pompa per tahun dengan pemantauan kondisi berupa getaran:

$$C_p = 0,8 \times \text{perkiraan biaya perbaikan} - \left(\frac{\text{biaya modal peralatan pemantauan kondisi}}{\text{jumlah mesin dalam kelompok}} \right) - \text{biaya untuk pemantauan kondisi} \quad (4-33)$$

4.1.6 Repair Policy dan Preventive Policy

Menurut Higgins et al. (2002) biaya perawatan dibagi menjadi *repair policy* dan menggunakan *preventive policy*. Perhitungan kebijakan perawatan menggunakan *repair policy* ditunjukkan pada persamaan (4-34).

Expected cost of repair per bulan = jumlah rata-rata *breakdown* tiap bulan untuk N mesin x biaya perbaikan

$$TCr = B \times Cr \quad (4-34)$$

$$\text{Rata-rata } breakdown \text{ tiap bulan (N mesin)} = \frac{\text{Jumlah mesin}}{\text{rata-rata runtime per mesin sebelum rusak}}$$

$$B = \frac{N}{Tb} \quad (4-35)$$

$$Tb = p_i \times T_i \quad (4-36)$$

Dimana:

TCr = *expected cost of repair* per bulan

B = jumlah rata-rata *breakdown* tiap bulan untuk N mesin

Cr = biaya perbaikan

Tb = rata-rata *runtime* per mesin sebelum rusak

N = jumlah mesin

Perhitungan biaya menggunakan kebijakan *preventive policy* menurut Higgins et al. (2002) yaitu dengan menghitung biaya *repair* per bulan dan juga biaya *preventive maintenance* per bulan.

Biaya total perawatan per bulan = biaya *repair* per bulan + biaya *preventive maintenance* per bulan

$$TMC_n = TCr_n + TCM_n \quad (4-37)$$

$$\text{Biaya total perawatan per bulan} = \frac{\text{jumlah breakdown}}{\text{jumlah periode}} \times \text{Biaya repair} + \frac{\text{jumlah mesin} \times \text{biaya preventive maintenance}}{\text{jumlah periode}}$$

$$TCM_n = \frac{B_n}{n} Cr + \frac{Nx Cm}{n} \quad (4-38)$$

Dimana:

TMC_n = biaya total perawatan per bulan

TCr_n = biaya *repair* per bulan

TCM_n = biaya *preventive maintenance* per bulan

n = jumlah periode

Berdasarkan enam jurnal yang telah dijelaskan diatas, Tabel 4.1 adalah keseluruhan biaya yang digunakan oleh tiap jurnal

Tabel 4. 1 Jurnal Pemodelan Biaya

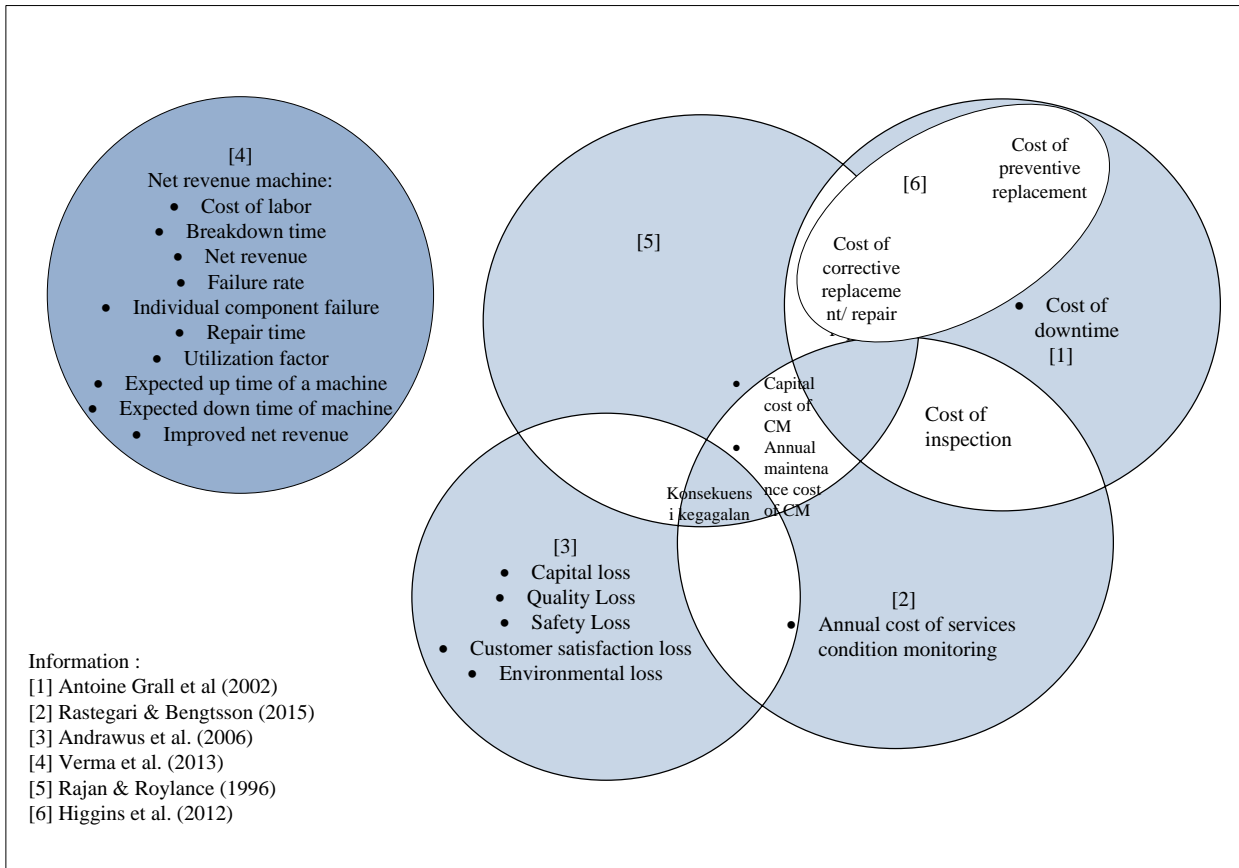
No	Judul	Keterangan
1.	<i>Continuous-Time Predictive-Maintenance Scheduling for a Deteriorating System</i> (Antoine Grall et al., 2002)	Biaya yang ada dalam perawatan yaitu: 1. Biaya <i>preventive replacement</i> (C_p) 2. Biaya <i>corrective replacement</i> (C_c) 3. Biaya <i>downtime</i> (C_d) 4. Biaya inspeksi (C_i)
2.	<i>Determining an Appropriate Condition-based Maintenance Strategy for Wind Turbines</i> (Andrawus et al., 2006)	Biaya TBM A. Failure Consequence 1. Total biaya kehilangan produk (Jumlah hari kerja, Rating kWh, Biaya per kWh, <i>Capacity factor</i>) 2. Total biaya bahan yang digunakan (Biaya bahan, Biaya transportasi, Biaya <i>loading</i> , Biaya <i>unloading</i> , <i>Value added tax</i>) 3. Total biaya tenaga kerja (Banyak pekerja, Banyak hari kerja, Jam kerja per hari, Biaya tenaga kerja per jam) 4. Total biaya <i>access</i> (Chd, Jumlah hari kerja, <i>Value added tax</i>) B. Biaya Inspeksi Biaya kegiatan CBM: 1. Biaya modal <i>condition monitoring</i> 2. Biaya pemeliharaan tahunan <i>condition monitoring</i> 3. Biaya servis tahunan

Lanjutan Tabel 4.1 Jurnal Pemodelan Biaya

No	Judul	Keterangan
3.	<i>Cost Effectiveness of Condition Based Maintenance in Manufacturing</i> (Rastegari & Bengtsson, 2015a)	<p>Total biaya karena kerusakan mesin untuk TBM:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Capital loss (machine repair cost)</i>(MTTR, biaya tenaga kerja, biaya spare part, biaya kerusakan sekunder) 2. <i>Production loss</i> (MTTR, rata- rata harga produk, rata- rata tingkat produksi) 3. <i>Quality loss</i> (MTTR, rata- rata tingkat produksi, pengurangan biaya produk) 4. <i>Safety loss</i> (Biaya denda untuk pelanggaran peraturan ketika aset gagal dan melukai karyawan, Biaya kompensasi untuk karyawan yang terluka) 5. <i>Customer satisfaction loss</i> (Biaya denda untuk pengiriman terlambat, Biaya kehilangan bisnis ke pesaing karena pesanan terlambat) 6. <i>Environmental loss</i>
4.	<i>Cost Effectiveness of Condition Based Maintenance in Manufacturing</i> (Verma et al., 2013)	<p>Perhitungan <i>net revenue</i> dari mesin untuk TBM dan CBM</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Biaya tenaga kerja 2. Waktu <i>Breakdown</i> 3. Pendapatan bersih 4. Tingkat kegagalan 5. Kegagalan komponen individu 6. Waktu perbaikan 7. <i>Utilization factor</i> 8. <i>Expected up time of a machine</i> 9. <i>Expected down time of machine</i> 10. Peningkatan pendapatan bersih
5.	<i>The Development Of A Cost Benefit Analysis Method For Monitoring The Condition Of Batch Process Plant Machinery</i> (Rajan & Roylance, 1996)	<p>Biaya untuk TBM:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Biaya kerusakan pada mesin itu sendiri 2. Konsekuensi biaya untuk proses atau produk <p>Biaya untuk CBM:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Prediksi biaya perbaikan 2. Biaya capital peralatan <i>condition monitoring</i> <p>Biaya untuk menjalankan <i>condition monitoring</i></p>
6.	<i>Maintenance Engineering Handbook 6th</i> (Higgins et al., 2002)	<p>Biaya untuk <i>repair policy</i>:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah rata- rata <i>breakdown</i> 2. Biaya perbaikan <p>Biaya untuk <i>preventive policy</i>:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah mesin 2. Biaya <i>preventive maintenance</i> 3. Jumlah periode

4.2 Pengembangan Model Biaya

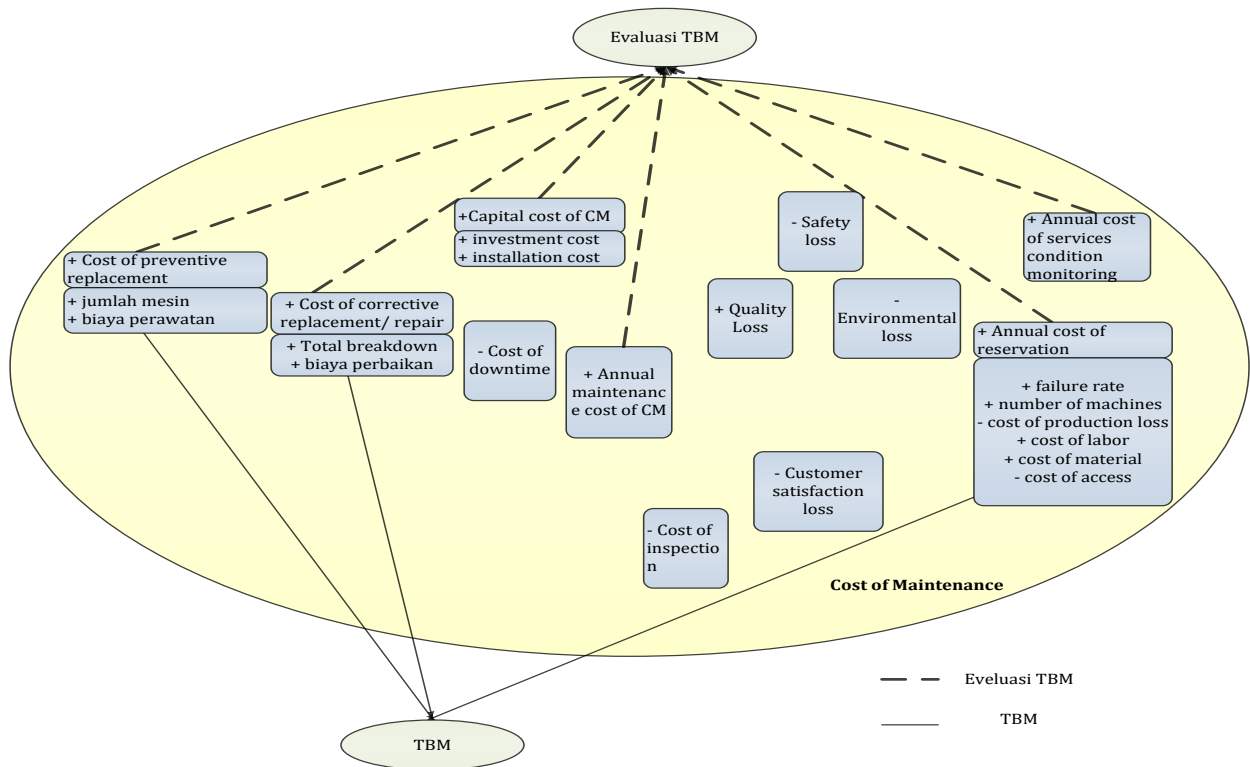
Berdasarkan Tabel 4.1 tentang jurnal pemodelan yang dipakai untuk pertimbangan pengembangan model biaya untuk TBM dan evaluasi TBM, Gambar 4.1 adalah gambaran keseluruhan biaya yang dipakai dalam jurnal yang dipakai dalam penelitian ini.



Gambar 4. 1 Keseluruhan Biaya Perawatan

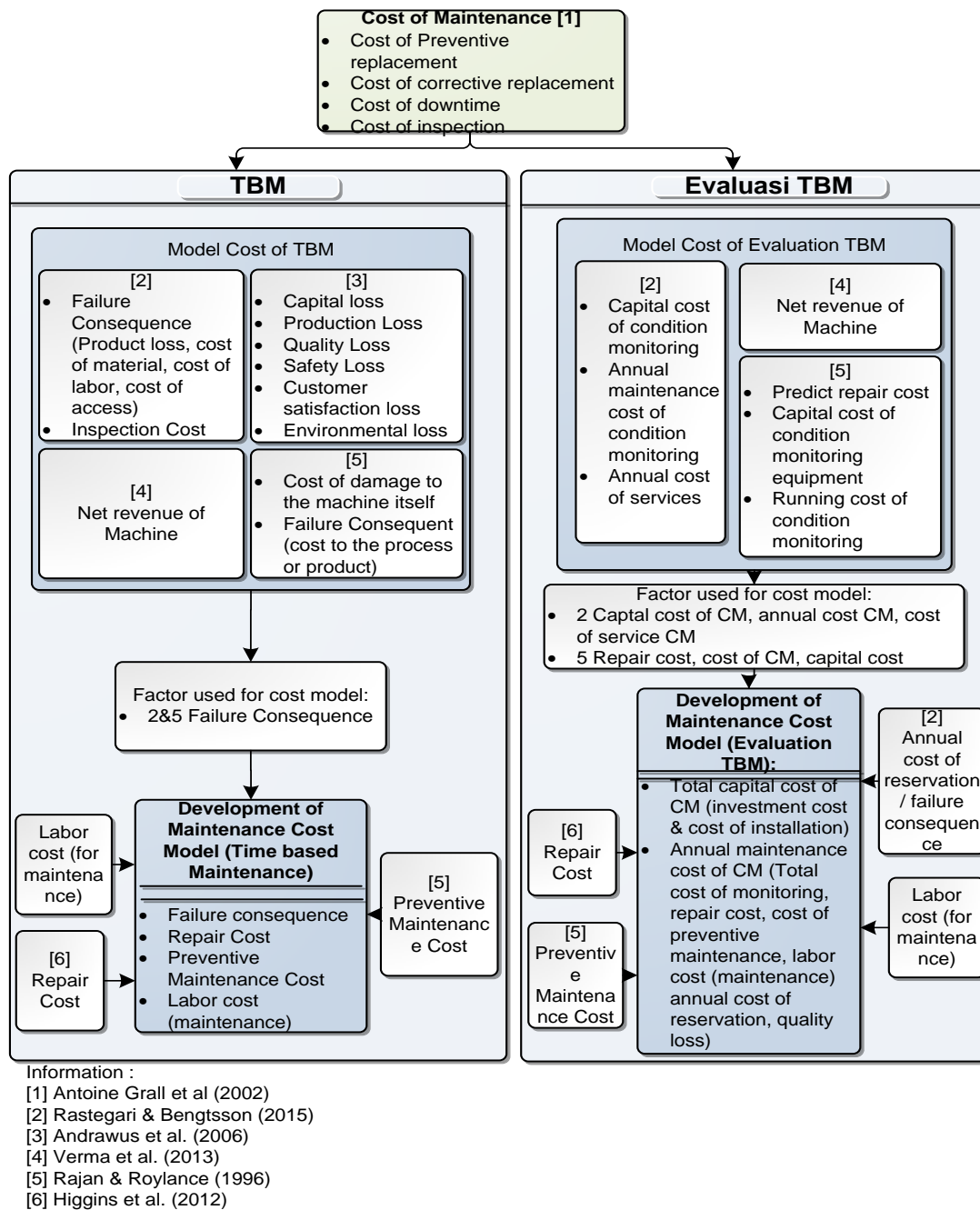
Gambar 4.1 menunjukkan keseluruhan biaya yang digunakan dalam penelitian. Selanjutnya dilakukan pemilahan komponen biaya yang sesuai untuk digunakan dengan pertimbangan satuan yang digunakan harus sama.

Komponen biaya yang ada pada Gambar 4.1 menggambarkan keseluruhan biaya yang akan dipertimbangan untuk pemodelan yang baru. Selanjutnya, keseluruhan biaya tersebut dipetakan dan dipecah untuk menentukan biaya yang masuk dalam TBM dan evaluasi TBM. Komponen biaya yang ada pada TBM dan evaluasi TBM terdapat beberapa kesamaan misalnya *annual cost of reservation/* konsekuensi karena adanya kegagalan. Hal tersebut terjadi jika pada penerapan evaluasi TBM masih terdapat produk cacat.



Gambar 4. 2 Pemetaan Biaya untuk TBM dan Evaluasi TBM

Pemetaan biaya dilakukan untuk menentukan biaya yang termasuk dalam TBM dan Evaluasi TBM. Selanjutnya, akan dilakukan pertimbangan sesuai dengan keadaan yang ada di lapangan dan biaya lain yang mungkin belum termasuk di dalamnya. Pengembangan model biaya untuk TBM dan evaluasi TBM berdasarkan pada jurnal pemodelan yang digunakan dan penambahan biaya yang belum termasuk di dalamnya disesuaikan dengan keadaan yang ada di lapangan. Evaluasi TBM yang akan dilakukan terdapat banyak alternative yang bisa dipilih salah satunya dengan penerapan CBM dengan melakukan investasi mesin untuk melakukan *monitoring* secara *real time* atau *periodic*. Penerapan evaluasi TBM diharapkan dapat mengurangi biaya perawatan salah satunya adanya kegagalan produksi karena perawatan yang tidak optimal.



Gambar 4. 3 Pengembangan TBM dan Evaluasi TBM

Berdasarkan Gambar 4.3, untuk model biaya TBM yang dipakai adalah *failure consequence*. *Failure consequence* merupakan biaya yang terjadi karena adanya kegagalan pada produksi dan dipresentasikan dengan biaya yang hilang misalnya karena *production loss* (biaya penggunaan listrik), *cost of material* dan *cost of labor*. Adanya perhitungan terkait *failure consequence* berguna dalam mempresentasikan biaya yang hilang akibat adanya kegagalan produksi. Pemodelan yang baru menambahkan biaya tenaga kerja, biaya *repair* dan *preventive maintenance*, biaya ini sangat wajar dipertimbangkan di perusahaan karena sebagian besar perusahaan yang belum mengaplikasikan perawatan secara modern pasti menerapkan perawatan

tersebut tetapi pada paper yang digunakan sebagai referensi belum memperhitungkan hal tersebut.

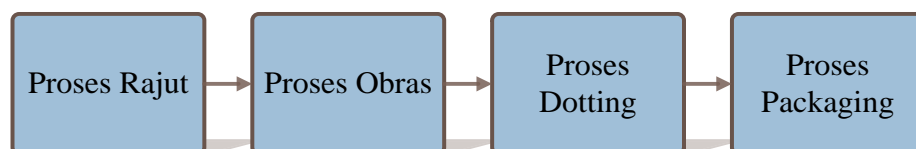
Model biaya evaluasi TBM memerlukan *capital cost* berupa investasi mesin yang digunakan untuk *monitoring*. Selain itu, diperlukan biaya yang terkait dengan pemasangan dari alat tersebut berupa *cost of service* dan *annual cost of maintenance* berupa biaya yang dikeluarkan terkait penggunaannya. Penerapan CBM dipilih dalam alternative evaluasi TBM karena keuntungannya untuk menghilangkan kegagalan, tetapi kemungkinan terjadinya kegagalan masih mungkin terjadi. Sehingga perlu dalam mempertimbangkan *failure consequence* untuk model evaluasi TBM. Meskipun penerapan evaluasi TBM diterapkan di perusahaan, beberapa perawatan sebelumnya tidak mungkin untuk dihilangkan keseluruhan sehingga dalam pemodelan evaluasi TBM yang baru tetap mempertimbangkan biaya tenaga kerja, biaya *repair* dan *preventive maintenance*. Biaya *preventive maintenance* tetap dipertimbangkan karena melengkapi perawatan untuk evaluasi TBM sedangkan biaya *repair* terjadi ketika terjadi penggantian komponen jika diperlukan. Penjelasan lebih lanjut terkait detail biaya yang diperlukan pada masing- masing persamaan, dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

4.3 Pemodelan Biaya TBM dan Evaluasi TBM Sarung Tangan Rajut

Pada bab sebelumnya tentang pengembangan model biaya telah dijelaskan komponen biaya perawatan berdasarkan referensi yang digunakan. Pada bab ini akan dijelaskan secara terperinci biaya yang digunakan berdasarkan proses produksi yang ada di Perusahaan Sarung Tangan Rajut.

4.3.1 Gambaran Umum Perusahaan Sarung Tangan Rajut

Perusahaan ini bergerak dibidang pembuatan sarung tangan rajut, dimana bahan dasar yang digunakan berupa benang rajut. Gambar 4.4 merupakan proses produksi yang ada pada perusahaan ini.



Gambar 4. 4 Proses Produksi Sarung Tangan Rajut

Bahan dasar pembuatan sarung tangan yaitu benang yang selanjutnya diolah menjadi beberapa proses manufaktur, antara lain:

- a. Rajut adalah proses mengolah benang untuk dirajut menjadi sarung tangan polos. Setelah dilakukan *setup* mesin, kemudian dilakukan proses rajut, dimana terdapat 308 mesin rajut

dan tiap 77 mesin terdapat 4 operator yang mengawasi jalannya proses rajut di tiap mesin. Mesin rajut bekerja selama 24 jam dimana terdapat 3 shift pergantian pekerja yang dilakukan tiap 8 jam

- b. Obras adalah proses untuk menambah jahitan yang menutup ujung benang di pergelangan tangan. Proses obras merupakan proses yang dilakukan setelah proses rajut untuk merapikan hasil rajutan.
- c. *Dotting* adalah proses penambahan titik- titik pada telapak sarung tangan polos sehingga menjadikan sarung tangan anti *slip*.
- d. *Packaging* adalah proses penyusunan sarung tangan siap pakai untuk dimasukkan dalam kantong tangan plastik.

Penelitian ini akan membahas perbandingan antara penerapan TBM dan penerapan evaluasi TBM dalam upaya menurunkan biaya perawatan di Perusahaan Sarung Tangan Rajut. Penerapan TBM yang telah dilakukan perusahaan merupakan penerapan perawatan secara tradisional dimana dilakukan berdasarkan data historis berupa perawatan secara *preventive* dan perawatan *corrective*. Perawatan yang telah dilakukan di perusahaan (keadaan *existing*) masih terdapat banyak kendala diantaranya banyak produk cacat di proses pertama yaitu proses rajut. Produk cacat yang dihasilkan banyak terlewat untuk terdeteksi sehingga mesin rajut terus memproduksi produk sarung tangan yang cacat. Penerapan evaluasi TBM dalam upaya menurunkan biaya perawatan dengan cara menghindari adanya kegagalan di proses rajut. Banyaknya produk cacat yang ada di mesin rajut merupakan masalah yang harus dihindari, sehingga penerapan evaluasi TBM dilakukan untuk menghindari terlewatnya produk cacat yang tidak segera terdeteksi. Pemilihan teknologi yang akan digunakan akan disesuaikan dengan keadaan perusahaan dimana dengan adanya penerapan evaluasi TBM, perusahaan harus mengeluarkan biaya awal untuk investasi mesin yang ada.

4.3.2 Pemodelan Biaya di Perusahaan Sarung Tangan Rajut

Pemodelan biaya TBM di Perusahaan Sarung Tangan Rajut berdasarkan persamaan (4-2) menjadi persamaan (4-39). Sedangkan untuk pemodelan biaya CBM berdasarkan persamaan (4-12) menjadi persamaan (4-46). Referensi mengenai penerapan CBM pada *wind farms* (Andrawus et al., 2006) dan penerapan CBM yang efektif (Rastegari & Bengtsson, 2015a) digunakan sebagai referensi dalam melakukan pemodelan biaya. Jurnal yang ditulis oleh Verma et al., (2013) tidak dipertimbangkan untuk perhitungan pendapatan bersih karena keterbatasan dalam model yang berbeda, tidak melibatkan faktor penting untuk pengembalian investasi

maksimal. Penelitian yang dilakukan jurnal tersebut tentang strategi perawatan dan tidak mengusulkan persamaan harga yang tepat untuk menghitung pendapatan yang dihasilkan oleh mesin. Model teoritis tanpa perhitungan tidak dapat menunjukkan perbedaan yang jelas antara strategi pemeliharaan yang berbeda. Penelitian Rajan & Roylance (1996) menggambarkan model matematis yang mempertimbangkan biaya investasi dan biaya monitoring CBM. Penelitian ini menggunakan perbandingan antara strategi perawatan berdasarkan usulan model biaya dan juga penerapan perhitungan biaya untuk strategi perawatan yang berbeda. Untuk menentukan strategi perawatan mana yang paling sesuai, maka menggunakan sejumlah faktor kunci seperti investasi biaya awal, biaya perawatan tetap dan biaya suku cadang.

Pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan dua tahapan. Tahap pertama merupakan pemodelan menggunakan TBM dan tahapan kedua merupakan pemodelan menggunakan evaluasi TBM yang mengadaptasi penerapan CBM berupa investasi mesin untuk melakukan *monitoring*. Biaya TBM untuk mesin rajut mengacu pada penelitian Andrawus et al. (2006) untuk persamaan biaya TBM pada persamaan (4-2). Tanda *strikethrough* (garis pada bagian tengah teks) merupakan komponen yang tidak dipakai dalam penelitian ini untuk menjelaskan perbedaan antara persamaan yang sudah ada pada penelitian sebelumnya dan dilakukan peniadakan pada persamaan yang baru.

$$\text{Cost of TBM} = \text{annual cost of inspection} + \text{annual cost reservation}$$

Sumber : (Andrawus et al., 2006)

$$\text{Cost of TBM} = \text{annual cost of inspection} + \text{annual cost reservation} + \text{biaya quality loss}$$

$$\text{Cost of TBM} = \text{Biaya preventive} + \text{Biaya repair} + \text{biaya labor} + \text{annual cost reservation}$$

$$\text{Cost of TBM} = \sum TCM_n + \sum TCr_n + TC_{LB} + A_{CR} \quad (4- 39)$$

Annual cost reservation berupa perhitungan banyaknya kegagalan dan beberapa konsekuensi kegagalan yang ada. Perumusan biaya ini berdasarkan penelitian Andrawus et al. (2006) untuk persamaan (4-11).

$$\text{Annual cost reservation} = \text{failure consequence} \times \text{failure rate} \times \text{number of machines}$$

$$A_{CR} = \alpha F_C N_T$$

Sumber: (Andrawus et al., 2006)

$$A_{CR} = \alpha F_C N_T \quad (4- 40)$$

Pemodelan untuk *failure consequence* menurut Andrawuset al. (2006) pada persamaan (4-3). Biaya yang masuk didalamnya adalah biaya *production loss*, biaya *material*, biaya tenaga kerja dan biaya *access*. Pada penelitian ini tidak memasukkan biaya untuk *total cost of access* karena biaya tersebut tidak diterapkan di perusahaan sarung tangan rajut. Komponen biaya berdasarkan persamaan (4-3) tetap disesuaikan dengan keadaan perusahaan sehingga terdapat beberapa perbedaan.

Failure consequence = Total cost of production loss + Total cost of material + Total cost of labour + Total cost of acces

$$F_C = TC_{PL} + TC_{MT} + TC_{LB} + TC_{AS}$$

Sumber: (Andrawus et al., 2006)

$$F_C = TC_{PL} + TC_{MT} + TC_{LB} + \cancel{TC_{AS}}$$

Failure consequence = Total cost of production loss + Total cost of material + Total cost of labour

$$F_C = TC_{PL} + TC_{MT} + TC_{LB} \quad (4- 41)$$

Komponen biaya yang termasuk dalam *production loss* (penggunaan listrik) menurut persamaan (4-4) adalah banyaknya hari kerja, *power rating* mesin rajut, jumlah jam per hari dan biaya per kWh. Biaya *production loss* untuk mesin rajut hampir sama dengan persamaan (4-4).

Total cost of production loss= jumlah hari kerja x 24 x power rating wind turbines per kWh x biaya energy per kWh x

$$\frac{\text{total energy untuk periode tertentu}}{\text{power rating wind turbines per kWhx periode waktu tertentu}}$$

$$TC_{PL} = N_{dy} \times 24 \times WT_{PR} \times C_{EH} \times \frac{E_{OP}}{WT_{PR} \times T}$$

Sumber: (Andrawus et al., 2006)

Total cost of production loss= jumlah hari kerja x power rating of knitting machine (kWh) x jumlah jam per hari kerja x biaya energy per kWh

$$TC_{PL} = N_{dy} \times PR_{KM} \times W_{hr} \times C_{EH} \quad (4- 42)$$

Total cost of material berdasarkan persamaan (4-6) dimana komponen biaya yang masuk berupa biaya *material*, biaya *transportation*, biaya *loading*, biaya *unloading* dan pajak. Biaya *material* yang ada di mesin rajut berupa komponen biaya yang digunakan untuk memproduksi

sarung tangan rajut. Sedangkan untuk komponen biaya yang lain tidak dipertimbangkan pada persamaan ini

Total cost of material = (biaya material + biaya transportation + biaya loading + biaya unloading) $\times (1 + \frac{pajak}{100})$

$$TC_{MT} = (C_{MT} + C_{TP} + C_{Ld} + C_{OLd}) \left(1 + \frac{V_{AT}}{100}\right)$$

Sumber: (Andrawus et al., 2006)

$$TC_{MT} = (C_{MT} + \cancel{C_{TP}} + \cancel{C_{Ld}} + \cancel{C_{OLd}}) \left(1 + \frac{\cancel{V_{AT}}}{100}\right)$$

Total cost of material = Total hari kerja x Total biaya material

$$TC_{MT} = N_{dy} \times \sum C_{MT} \quad (4- 43)$$

Total cost of labour berupa biaya yang dikeluarkan untuk gaji tenaga kerja mengacu pada persamaan (4-8). Biaya tenaga kerja yang ada di mesin rajut diantaranya jumlah pekerja dan biaya tenaga kerja disesuaikan dengan keadaan di perusahaan dan pertimbangan jurnal sebelumnya.

Total cost of labour = Total hari kerja x Jumlah tenaga kerja x Total jam per hari x Biaya tenaga kerja per jam

$$TC_{LB} = N_{dy} \times N_{Pn} \times W_{hr} \times L_{RT}$$

Sumber: (Andrawus et al., 2006)

$$TC_{LB} = \cancel{N_{dy}} \times N_{Pn} \times \cancel{W_{hr}} \times L_{RT}$$

Total cost of labour = Jumlah tenaga kerja x Biaya tenaga kerja per bulan

$$TC_{LB} = N_{Pn} \times L_{RT} \quad (4- 44)$$

Kriteria pemodelan biaya CBM menggunakan penelitian Andrawuset al.(2006) dan Rajan & Roylance (1996) sebagai referensi dan biaya yang termasuk didalamnya yaitu biaya investasi dan biaya *annual condition*. Biaya untuk CBM mesin rajut mengacu pada persamaan (4-12). Persamaan biaya dari evaluasi penerapan TBM mengadaptasi pada penerapan CBM dengan melakukan investasi mesin dan melakukan *monitoring* tetapi dalam persamaan baru tidak menggunakan *annual cost of servicing turbines* karena tidak sesuai dengan penelitian ini. Biaya *annual condition monitoring* dimana didalamnya termasuk *biaya condition monitoring*, biaya

replacement, biaya preventive maintenance, biaya labor untuk perawatan dan failure consequence

$$\text{Cost of Evaluation TBM} = \text{Total capital cost of CM} + \text{Annual maintenance cost of CM} + \text{Annual cost of servicing turbines}$$

Sumber: (Andrawus et al., 2006)

$$\text{Cost of Evaluation TBM} = \text{Total capital cost of CM} + \text{Annual maintenance cost of CM} + \text{Annual cost of servicing turbines}$$

$$\text{Cost of Evaluation TBM} = \text{Total capital cost of CM} + \text{Annual maintenance cost of CM}$$

$$\text{Cost of Evaluation TBM} = TC_{cap} + \sum TC_{ACM} \quad (4-45)$$

Dimana:

A_{CR} = annual cost reservation

C_{MT} = Biaya material

L_{RT} = Biaya tenaga kerja

T = period under consideration

W_{hr} = jam kerja per hari

R_p = Rata- rata tingkat profuksi

C_{EH} = Biaya energy tiap kWh

α = Tingkat kegagalan

N_{oil} = oli yang digunakan (liter)

N = Jumlah mesin

P_p = Pengurangan harga produk

R_f = Jumlah Produk cacat

$TC_{Monitoring}$ = Total biaya monitoring

$C_{Installation}$ = Biaya instalasi

n_{IC} = jumlah kamera

PR_{PC} = Tingkat daya Personal computer

TCr_n = biaya repair

B_{jarum} = total jarum patah

C_{IPC} = Biaya investasi personal computer

TCM_n = biaya preventive maintenance per bulan

TC_{PL} = Total biaya production losses

TC_{MT} = Total biaya material

TC_{LB} = Total biaya tenaga kerja

TC_{AS} = Total biaya access

F_c = Konsekuensi kegagalan

N_{dy} = Jumlah hari kerja per bulan

E_{OP} = Total energy keluar pada waktu T

N_{pn} = Jumlah tenaga kerja

$C_{m_{oil}}$ = harga oli (liter)

n = jumlah periode

N_T = Jumlah turbines di wind farm

TC_{cap} = Total biaya kapital CBM

C_{IC} = Biaya investasi kamera

n_{IPC} = jumlah personal computer

TC_{ACBM} = Total cost annual CBM

C_m = Biaya perawatan

Cr_{jarum} = Harga jarum

PR_K = Tingkat daya kW (kompresor)

PR_{KM} = Tingkat daya kW (knitting machine)

BAB V

EVALUASI TBM PADA PERUSAHAAN SARUNG TANGAN RAJUT (PSTR)

Bab ini akan menjelaskan tentang studi kasus yang digunakan, pemodelan biaya secara detail untuk TBM dan penerapan evaluasi TBM di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR) dan analisis pembahasan mengenai evaluasi biaya pada penerapan TBM (*existing*) dan evaluasi penerapan TBM.

5.1 Study Kasus Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR)

Berdasarkan pemodelan biaya TBM dan evaluasi penerapan TBM pada akhir bab 4, disini akan dijelaskan mengenai keadaan di Perusahaan Sarung Tangan Rajut secara detail dan pemodelan biaya secara lengkap.

5.1.1 Perawatan Menggunakan TBM (Keadaan *Existing*)

Perusahaan sarung tangan rajut memerlukan beberapa alat pendukung dalam proses produksinya. Jenis mesin yang digunakan dalam perusahaan ini adalah mesin rajut, mesin obras, mesin *dotting* dan alat untuk pengepakan. Tabel 5.1 menunjukkan jumlah mesin yang ada di perusahaan sarung tangan rajut:

Tabel 5. 1Jumlah Mesin Perusahaan		
No.	Jenis Mesin	Jumlah
1	Mesin Rajut	308
2	Mesin Obras	20
3	Mesin Dotting	3
4	Mesin untuk Pengepakan (<i>Center</i>)	9

Mesin rajut dan mesin obras yang ada pada perusahaan berjumlah banyak tetapi spesifikasi mesin yang digunakan sama untuk mengerjakan tugas produksi dalam waktu yang bersamaan. Untuk mesin *dotting* dan mesin untuk pengepakan (*center*) hanya berjumlah tunggal, namun mampu berfungsi secara maksimal dalam proses produksi.

Penelitian ini hanya membahas tentang mesin rajut, hal ini dikarenakan terdapat banyak produk sarung tangan rajut yang cacat pada proses produksi mesin rajut dan proses rajut merupakan proses pertama yang akan mempengaruhi proses selanjutnya jika hasil sarung tangan tidak sesuai spesifikasi. Proses yang ada pada mesin rajut bekerja selama 24 jam, terdapat 4 grup

dimana tiap grup megawasi 77 mesin dan empat pekerja. Tiap pekerja dalam grup mempunyai tugas mengawasi bila terdapat cacat produk sarung tangan dan langsung mengganti jarum. Selain itu, tugas mereka adalah untuk memberi oli dan melakukan pembersihan mesin rajut dengan kompresor untuk menghilangkan kotoran dan debu yang ada di mesin rajut setiap 8 jam sekali.

Mesin rajut yang digunakan dalam perusahaan sarung tangan rajut ini sebanyak 308 buah mesin tetapi spesifikasi mesin yang digunakan sama. Terdapat dua jenis mesin rajut yaitu mesin rajut bundar dan mesin rajut datar (Hartanto, 2013). Mesin rajut yang ada di perusahaan merupakan mesin rajut datar (*flat knitting machine*). Gambar 5.1 adalah spesifikasi mesin rajut yang ada di perusahaan sarung tangan rajut.



Gambar 5. 1 Mesin Rajut

Voltage: 220V(Single-phase)

Power(W): 400 W (motor)

Dimension(L*W*H): 1,120x700x1,800mm (Height 1,800 mm with Tensioner)

Weight: 340 kgs

Production Capacity: 160 Pairs/day

Perawatan tradisional yang dilakukan perusahaan sarung tangan rajut menggunakan *Time Based Maintenance* berupa:

1. Perawatan *preventive*

- a. Perusahaan sarung tangan rajut melakukan pemberian oli setiap pergantian shift yaitu 8 jam sekali. Pemberian oli ini untuk menghindari mesin rajut dari gesekan yang ada sehingga apabila oli yang diberikan kurang dari ketentuan akan menyebabkan jarum patah. Minyak atau pelumas mesin dapat menyumbat pergerakan jarum dan menyebabkan jarum rusak (Reza, 2013). Pelumas yang bercampur dengan serat benang dapat menyumbat mesin dan menyebabkan jarum patah.
- b. Pembersihan mesin rajut menggunakan kompresor sangat penting dilakukan. Ketika mesin rajut sedang bekerja, banyak serat menumpuk juga kotoran dan debu. Pembersihan

benang pada mesin yang dilakukan di perusahaan sarung tangan rajut saat ini setiap pergantian *shift* yaitu 8 jam sekali. Ketika mesin rajut melakukan tugasnya, serat benang, kotoran dan debu menumpuk di mesin rajut. Sehingga mesin perlu dibersihkan dalam waktu tertentu. Jika perawatan ini tidak dilakukan maka akan berpengaruh pada bekas kotoran yang tidak diinginkan pada produk sarung tangan. Kotoran yang terakumulasi di jarum akan menyumbat gerakan jarum dan menyebabkan jarum rusak atau patah. Mesin umumnya dibersihkan tiap shift yaitu 8 jam sekali (Reza, 2013). Pada mesin rajut, jenis benang, kecepatan mesin dan jumlah pengumpan merupakan penyebab adanya benang yang terbang dan mengotori mesin. Selain itu atmosfer ruangan seperti suhu ruangan mempengaruhi banyaknya serat dari benang (Reza, 2013). Banyaknya serat benang yang terbang disekitar mesin rajut mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan mesin.

- c. Perawatan *corrective* dilakukan pada jarum yang patah dan penggantian jarum dilakukan ketika terdapat sarung tangan yang cacat. *Time based maintenance* dilakukan secara manual dengan melihat produk jadi dari sarung tangan. Selanjutnya ketika pekerja menemukan produk cacat, pekerja akan memberhentikan mesin dan mengganti benang yang patah.

Life time jarum berakhir ketika jarum kehilangan fungsi yang sebenarnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi hidup jarum adalah operator, pengaturan mesin, pengaturan kecepatan, banyaknya serat benang dan minyak yang bocor. Masalah kebocoran minyak karena tidak adanya segel minyak dan nozel minyak mesin. Jika masalah ini berlanjut, maka hal ini tidak menguntungkan dari segi biaya yaitu lebih banyak konsumsi minyak sehingga mempengaruhi *life time* jarum dan terakumulasi di mesin rajut. Kerusakan jarum juga dapat terjadi karena jarum bersentuhan dengan bagian dari mesin *fabric* secara berulang sehingga menimbulkan gesekan dan menyebabkan jarum patah. Sangat sulit untuk menentukan *life time* jarum yang ideal, berbeda dengan kualitas benang dan mesin.

Beberapa sarung tangan yang cacat dapat diperbaiki ulang dengan cara ditisik untuk menjadi produk yang siap jual tetapi dengan harga yang lebih murah dari harga jual. Sedangkan produk cacat yang tidak diperbaiki akan dijual per kg. Berdasarkan wawancara dengan pihak perusahaan, jumlah produk cacat yang bisa ditisik sebesar 45%, sedangkan untuk produk cacat yang tidak bisa ditisik tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini.

5.1.2 Pengaplikasian Evaluasi TBM dalam Rangka Menurunkan Biaya *Maintenance*

Inspeksi yang tidak akurat pada produk menyebabkan cacat yang tidak terlihat sehingga berdampak pada kualitas dan biaya. Beberapa cacat pada sarung tangan rajut selama produksi menyebabkan permasalahan karena apabila tidak dideteksi dengan cepat, produk yang cacat akan diproduksi dan beberapa meter yang diproduksi merupakan produk cacat. Bagaimanapun juga, mesin harus berhenti dan dianalisis kerusakan sehingga menyebabkan waktu yang terbuang sia sia. Kegagalan yang terjadi ketika terdapat produk cacat sarung tangan biasanya disebabkan oleh jarum. Sehingga diperlukan penggantian jarum, tetapi sangat sulit untuk mendeteksi jarum yang patah sebelum terjadi. Beberapa penyebab jarum patah adalah getaran yang cukup kuat untuk mematahkan jarum, *constant contact* antara jarum dan benang yang menyebabkan tegangan sehingga melemahkan struktur jarum, *early ageing of the needles* dan *consequent damaging*. Sehingga dengan penerapan *condition based maintenance* pada mesin rajut diharapkan dapat mengurangi cacat yang ada dalam produk sarung tangan.

Memonitor produksi dalam mesin rajut sangat krusial untuk mendeteksi kegagalan yang terjadi. Beberapa alat dapat digunakan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi. Terdapat tiga kemungkinan pendekatan untuk mendeteksi kegagalan yaitu dengan inspeksi elemen rajutan, *knitted fabric* dan bahan baku. Untuk pendekatan pertama menggunakan *detector* kain, sensor dan pengenalan pola untuk mendeteksi jarum yang rusak. Untuk pendekatan kedua, dapat menggunakan penginderaan *optic* dan digabungkan dengan pendekatan yang lain. Pendekatan ketiga merupakan pendekatan yang paling mudah dengan melihat bahan baku misalnya dengan memeriksa tegangan masukan benang. (Rocha & Soares, 2004).

Penerapan *condition based maintenance* merupakan salah satu solusi dalam evaluasi TBM untuk memonitor proses produksi pada mesin rajut untuk mendeteksi adanya cacat dengan cepat. Pada mesin rajut otomatis terdapat *yarn feeding* yang berfungsi untuk menyalurkan benang ke jarum sehingga tidak macet. Bagian penting lainnya pada mesin rajut otomatis adalah *detector needle*. *Detector needle* merupakan sebuah alat otomatis yang mendeteksi kerusakan pada jarum bila terjadi benang putus. Bila mesin ini mengalami jarum patah atau benang putus akan langsung berhenti secara otomatis. Selain itu, terdapat *oiler* yang berisi minyak pelumas yang secara berkala akan melumuri minyak pada bagian tertentu mesin yang membutuhkan pelumas. Mesin rajut datar untuk merajut sarung tangan yang beroperasi secara otomatis bisa dijadikan pertimbangan dalam penerapan evaluasi TBM di mesin rajut perusahaan. Adanya *detector needle*, mempermudah deteksi jarum patah dan langsung mengganti jarum yang baru dan juga pelumasan yang dilakukan secara otomatis pada mesin.

Deteksi otomatis dan identifikasi sistem untuk mempertinggi kualitas produk dan akan meningkatkan produktifitas yang sesuai dengan permintaan konsumen dan mengurangi biaya yang disebabkan dari kualitas yang tidak sesuai (*Abou-Taleb & Sallam, 2007*). Tingginya produksi menyebabkan waktu untuk mendeteksi kegagalan menjadi sangat penting. Pemeriksaan yang dilakukan secara manual untuk mendeteksi adanya produk cacat membutuhkan waktu yang lama.

CBM menjadi salah satu alternative evaluasi TBM di mesin rajut. Penerapan *condition based maintenance* di industri sarung tangan harus melalui tiga tahap yaitu pengumpulan data, pemrosesan data dan pengambilan keputusan perawatan (*Jardine et al., 2006*). Pertimbangan tiga tahapan dalam CBM sangat perlu dipertimbangkan dan disesuaikan dengan keadaan yang ada di lapangan. Permasalahan yang ada pada perusahaan mesin rajut yaitu banyaknya cacat yang terjadi pada produk disebabkan adanya jarum yang patah tidak terdeteksi dengan segera. Untuk mendeteksi jarum yang patah sangat sulit untuk diterapkan. Beberapa pertimbangan yang bisa digunakan dalam penerapan evaluasi TBM yang mengadaptasi penerapan CBM sesuai dengan keadaan yang ada di mesin rajut Perusahaan Sarung Tangan Rajut yaitu:

1. Pemantauan berbasis getaran untuk mendeteksi kerusakan sistem berdasarkan sinyal getaran (*Wenbin Wang, 2007*). Penerapan berbasis getaran sulit diterapkan di perusahaan sarung tangan rajut. Terdapat banyaknya mesin yang ada di lapangan dan letaknya sangat berdekatan sehingga getaran yang ada di satu mesin bisa dipengaruhi dari getaran yang ada lingkungan sekitar. Selain itu, getaran mesin lebih kencang daripada getaran yang terjadi karena jarum yang akan patah.
2. Penggunaan alat MNC 2 (*Needle Controler*) untuk mendeteksi jarum yang rusak secara cepat dan efektif (*IRO, n.d.*). Terdapat sensor yang mendeteksi kepala jarum yang pecah dan bengkok secepat mungkin dan menghentikan mesin rajut dimana pada kepala jarum dipantau oleh kabel serat *optic*. Alat ini sangat cocok untuk diterapkan di perusahaan sarung tangan rajut, tetapi alat ini hanya dapat digunakan untuk *circular knitting machines* sedangkan mesin yang ada di perusahaan sarung tangan rajut merupakan *flat knitting machine*.



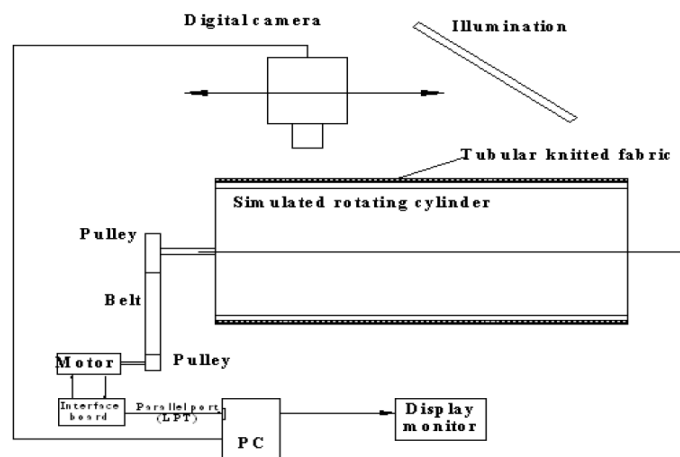
Gambar 5. 2 MNC 2 (*Needle Controler*)

3. Pengukuran YTI (*yarn input tension*) dengan pemasangan sensor gaya (Catarino & Rocha, 2004). Keadaan *existing* yang ada dimana terdapat banyak mesin yang harus beroperasi dan hanya terdapat empat pekerja untuk 77 mesin sehingga tidak mungkin untuk tiap mesin harus dimonitoring secara manual dan penerapan ini biasanya dilakukan di *circular knitting machine*.
4. Pemasangan alat MEMMINGER-IRO (PULSONIC 4-MEDI) yang memastikan memberikan minyak dengan bantuan sebuah jet minyak yang dilakukan di bawah tekanan (Plop, 2008). Permasalahan pelumasan pada mesin yang tidak tepat waktu bisa menyebabkan kering sehingga mempengaruhi *life time* jarum. Pemasangan alat ini sulit diterapkan untuk produksi mesin rajut sarung tangan karena mesin yang digunakan berupa *flat knitting machine* sedangkan alat ini dapat digunakan hanya untuk mesin *circular knitting machine*.



Gambar 5. 3MEMMINGER-IRO (PULSONIC 4-MEDI) (Plop, 2008)

5. Memonitor secara visual dengan pemasangan kamera berupa webcam tiap mesin untuk mendeteksi produk cacat dan ditransfer ke *personal computer*. Ketika terdapat produk cacat maka akan ditransfer dari *personal computer* dan langsung terdeteksi. Penggunaan sistem inspeksi ini mengadopsi pada jurnal yang ditulis Abou-Taleb & Sallam (2007) yang digunakan untuk *circular knitting machine*.



Gambar 5. 4 Hardware yang digunakan untuk sistem inspeksi (Abou-Taleb & Sallam, 2007)

Penerapan CBM memonitor kondisi mesin dan mendeteksi kesalahan sebelum terjadi kegagalan. Berdasarkan keadaan *existing* yang ada di perusahaan sarung tangan rajut, sangat sulit untuk mendeteksi adanya jarum yang patah. Sehingga pertimbangan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) tidak bisa sepenuhnya menerapkan CBM hanya saja konsep untuk melakukan investasi dan melakukan *monitoring* secara *real time* bisa dijadikan pertimbangan. Penerapan evaluasi TBM berupa pemasangan kamera sangat mungkin diterapkan dimana terdapat kamera yang memantau tiap mesin rajut dan secara otomatis memeriksa produk sarung tangan saat produksi. Ketika ditemukan produk cacat maka mesin secara otomatis akan langsung dihentikan (*automatic shutdown*) dan mendorong pekerja secara langsung mengganti jarum yang patah. Penerapan evaluasi TBM tersebut diharapkan dapat mengurangi adanya produk cacat meskipun tidak bisa menghindari adanya produk cacat seperti yang ada pada CBM, tetapi setidaknya bisa menekan cacat yang ada dibandingkan keadaan yang sebelumnya.

Pengaplikasian evaluasi TBM di Perusahaan Sarung Tangan Rajut yaitu meletakkan kamera *webcam* di dekat produk sarung tangan yang sedang diproses di mesin rajut. Ketika terdapat cacat maka akan dikirimkan sinyal di *personal computer* yang akan di proses sehingga menghentikan mesin. Teknik *image processing* yang akan mempresentasikan data dari gambar yang diperoleh dari webcam berupa pengolahan citra *digital*. Analisa kecacatan produk sarung tangan akan dilakukan dengan video *capturing* yang mengubah citra abu dan mengenali adanya cacat dengan menirukan proses kerja mata yang kemudian menginfokan dari *computer* untuk memberhentikan mesin.



Gambar 5. 5 Kamera webcam

Tabel 5.2 merupakan ringkasan CBM yang dijadikan referensi untuk pengaplikasian evaluasi TBM di mesin rajut Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR).

Tabel 5. 2 Alternatif Evaluasi TBM

Penelitian	Penerapan	Objek
Wenbin Wang (2007)	Mendeteksi kerusakan sistem berdasarkan sistem getaran	<i>Bearing</i>
Needle Detector NW from Memminger-IRO	Penggunaan alat MNC 2 (<i>Needle Controler</i>) untuk mendeteksi jarum yang rusak secara cepat dan efektif	<i>Circular knitting machines</i>
Catarino & Rocha (2004)	Pengukuran <i>yarn input tension</i> dengan pemasangan sensor gaya	<i>Circular knitting machine</i>
Plop (2008)	Pemasangan alat MEMMINGER-IRO (PULSONIC 4-MEDI) yang memastikan memberikan minyak dengan bantuan sebuah jet minyak yang dilakukan di bawah tekanan	<i>Circular knitting machine</i>
Abou-Taleb & Sallam (2007)	Memonitoring secara visual dengan pemasangan kamera berupa webcam tiap mesin untuk mendeteksi produk cacat dan ditransfer ke <i>personal computer</i>	<i>Circular knitting machine</i>
Penelitian ini (2018)	Menggunakan <i>image processing</i> untuk mendeteksi adanya produk cacat yang ditangkap dengan kamera webcam. Ketika menemukan produk cacat yang dideteksi menggunakan <i>image processing</i> lalu ditransfer ke <i>personal computer</i> untuk mematikan mesin rajut	<i>Flat knitting machine</i>

Penerapan evaluasi TBM yang ada di Perusahaan Sarung Tangan Rajut masih tetap menerapkan perawatan seperti yang ada di TBM (*Exiisting*). Hal ini dikarenakan, evaluasi TBM yang mengadaptasi CBM tidak bisa mencegah adanya produk cacat. Produk cacat yang disebabkan oleh jarum yang patah sangat sulit untuk dideteksi. Sehingga, penerapan evaluasi TBM di mesin rajut masih tetap menjalankan perawatan yang ada di TBM seperti perawatan *preventive* untuk pemberian oli dan pembersihan benang yang ada di mesin rajut dan perawatan *corrective* untuk penggantian jarum. Perbedaan yang ada antara TBM (*existing*) dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) terletak pada produk cacat yang dihasilkan, karena pada evaluasi TBM ketika menemukan satu produk cacat maka jarum akan langsung diganti sehingga masih tetap ada satu produk cacat. Sedangkan untuk TBM (*existing*) ketika terdapat jarum yang cacat, jarum yang patah tidak langsung ditangani sehingga menyebabkan banyak produk cacat yang dihasilkan.

Masih terdapatnya produk cacat yang ada di penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) menyebabkan masih diberlakukannya produk cacat yang harus diperbaiki ulang (ditsik). Jumlah produk yang bisa ditsik dipertimbangkan sesuai dengan yang ada sebelumnya untuk perawatan TBM, sedangkan untuk produk yang tidak diperbaiki ulang tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini.

5.2 Pemodelan Biaya TBM (*Existing*) dan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*) di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR)

Penjelasan mengenai pemodelan biaya untuk PSTR sudah dijelaskan di bab 4 dimana pada bab ini akan dijelaskan secara rinci mengenai pemodelan biaya TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) sesuai dengan keadaan yang dijadikan *study* kasus dari penelitian ini. Penelitian ini dilakukan untuk meneliti perbandingan penerapan TBM dan Evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang mengadaptasi pada penerapan CBM di perusahaan sarung tangan rajut.

Pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan dua tahapan. Tahap pertama merupakan pemodelan menggunakan TBM dan tahapan kedua merupakan pemodelan menggunakan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang mengadaptasi penerapan CBM untuk investasi mesin pada alat monitoring. Pada tahap pemodelan biaya TBM, biaya yang termasuk di dalamnya yaitu biaya *preventive* untuk pemberian oli tiap 8 jam, daya listrik kompresor, biaya *repair* jarum, biaya tenaga kerja dan biaya konsekuensi kegagalan. Biaya konsekuensi kegagalan menggunakan *paper* Andrawus et al. (2006) sebagai referensi dengan tetap melihat keadaan di perusahaan dan biaya yang termasuk didalamnya yaitu TC_{PL} , biaya material (TC_{MT}), biaya tenaga kerja (TC_{LB}).

Biaya TBM untuk mesin rajut mengacu pada penelitian Andrawus et al. (2006), dimana persamaan biaya TBM pada persamaan (4-1). Biaya TBM mesin rajut tidak menggunakan *annual cost of inspection* karena terdapat beberapa perawatan yang dilakukan disana yaitu perawatan secara *preventive*, perawatan *corrective* berupa penggantian jarum yang patah dan biaya pekerja untuk melakukan perawatan. Perawatan *preventive* dilakukan untuk membersihkan kotoran dan pemberian oli yang dilakukan setiap 8 jam.

$$\text{Cost of TBM} = \text{annual cost of inspection} + \text{annual cost reservation}$$

Sumber : (Andrawus et al., 2006)

$$\text{Cost of TBM} = \text{annual cost of inspection} + \text{annual cost reservation}$$

$$\text{Cost of TBM} = \text{Biaya preventive} + \text{Biaya repair} + \text{Biaya labor} + \text{annual cost reservation}$$

$$\text{Cost of TBM} = \sum TCM_n + \sum TCr_n + \sum TC_{LB} + A_{CR} \quad (5-1)$$

Biaya *preventive maintenance* mengacu pada persamaan (4-35) berdasarkan penelitian yang dilakukan Higgins, Lindley R. & Mobley (2002). Biaya *preventive* yang ada di perusahaan sarung tangan rajut adalah biaya untuk pelumasan oli yang dilakukan untuk mesin tiap 8 jam dan biaya daya yang digunakan untuk kompresor.

Biaya *preventive* = (jumlah mesin x biaya perawatan)/ jumlah periode

$$TMC_n = \frac{N \times Cm}{n}$$

Sumber : (Higgins, Lindley R. & Mobley, 2002)

Biaya *preventive* = [oli yang digunakan(liter) x harga oli] + [power rating kompresor per kWh x biaya energy per kWhx jumlah hari kerja x jumlah jam kerja]

$$\sum TCM_n = [N_{oil} \times Cm_{oil}] + [PR_K \times C_{EH} \times N_{dy} \times W_{hr}] \quad (5- 2)$$

Perumusan biaya repair menggunakan persamaan (4-34), dimana biaya yang dibutuhkan berupa total *breakdown* yang terjadi dan biaya perbaikan. Biaya *repair* yang ada di mesin rajut berupa penggantian jarum sehingga biaya yang dibutuhkan berupa banyaknya jarum yang patah dan harga jarum per satuan.

Biaya *repair* = Total *breakdown* x Biaya perbaikan

$$\sum TCr_n = B \times Cr$$

Sumber : (Higgins, Lindley R. & Mobley, 2002)

Biaya *repair* = \sum Total jarum patah x Harga jarum

$$\sum TCr_n = B_{jarum} \times Cr_{jarum} \quad (5- 3)$$

Biaya *labor* merupakan biaya yang dilakukan tenaga kerja untuk melakukan kegiatan *preventive* dan *repair* dalam waktu tertentu.

Total cost of labour = number of working days x number of person x work hours per day x labour rate per hour

$$TC_{LB} = N_{dy} \times N_{Pn} \times W_{hr} \times L_{RT}$$

Sumber: (Andrawus, Watson, Kishk, & Adam, 2006)

Total cost of labour = Jumlah tenaga kerja x $\frac{\text{Biaya tenaga kerja per bulan}}{8}$ x jumlah jam kerja

$$\sum TC_{LB} = N_{Pn} \times \frac{L_{RT}}{8} \times W_{hr} \quad (5- 4)$$

Penerapan biaya *annual cost reservation* untuk mesin rajut menggunakan persamaan yang sama seperti penelitian penelitian Andrawus et al.(2006) untuk persamaan (4-11), tetapi ada perbedaaan untuk biaya yang termasuk dalam *failure consequence*.

$$A_{CR} = \alpha F_C N_T$$

Sumber: (Andrawus, Watson, Kishk, & Adam, 2006)

$$A_{CR} = \alpha F_C N_T \quad (5- 5)$$

Pemodelan untuk *failure consequence* menurut Andrawus et al. (2006) pada persamaan (4-3) telah dijelaskan sebelumnya pada persamaan (4-41).

Failure consequence = Total cost of production loss + Total cost of material + Total cost of labour

$$F_C = TC_{PL} + TC_{MT} + TC_{LB} \quad (5- 6)$$

Komponen biaya yang termasuk dalam *production loss* (penggunaan listrik) menurut persamaan (4.4) adalah banyaknya hari kerja, *power rating* mesin rajut, jumlah jam per hari dan biaya per kWh. Biaya *production loss* untuk mesin rajut telah dijelaskan di bab sebelumnya pada persamaan (4-42).

Total cost of production loss = jumlah hari kerja x *power rating of knitting machine (kWh)* x jumlah jam per hari kerja x biaya energy per kWh

$$TC_{PL} = N_{dy} \times PR_{KM} \times W_{hr} \times C_{EH} \quad (5- 7)$$

Total cost of material berdasarkan persamaan (4-43) dimana komponen biaya yang masuk berupa komponen biaya yang digunakan untuk memproduksi sarung tangan rajut diantaranya adalah biaya benang dan biaya karet yang dilakukan selama 1 bulan untuk 1 mesin.

Total cost of material = Total hari kerja x Total biaya material

$$TC_{MT} = N_{dy} \times \sum C_{MT} \quad (5- 8)$$

Total cost of labour berupa biaya yang dikeluarkan untuk gaji tenaga kerja pada persamaan (4-44). Gaji pekerja di Perusahaan Sarung Tangan Rajut dihitung secara bulanan sesuai dengan UMR Surabaya.

Total cost of labour = Jumlah tenaga kerja x Biaya tenaga kerja per bulan

$$TC_{LB} = N_{Pn} \times L_{RT} \quad (5- 9)$$

Kriteria pemodelan biaya evaluasi TBM menggunakan penelitian Andrawus at al. (2006) dan Rajan & Roylance (1996) sebagai referensi dan biaya yang termasuk didalamnya yaitu biaya investasi dan biaya *annual condition*. Biaya *failure consequence* tetap ada karena CBM yang dilakukan di perusahaan sarung tangan rajut menunggu sampai ada produk cacat lalu diganti sehingga masih terdapat cacat produk tetapi cacat produk bisa ditekan karena ketika ada satu yang cacat maka mesin akan berhenti. Biaya yang ada pada evaluasi TBM masih tetap memasukkan biaya yang ada di TBM hal ini dikarenakan masih terdapat cacat produk. Biaya *annual condition monitoring* dimana didalamnya termasuk *biaya condition monitoring*, biaya *corrective*, biaya *preventive maintenance*, biaya tenaga kerja dan *failure consequence*. Penjelasan mengenai biaya CBM telah dijelaskan sebelumnya pada persamaan (4-45).

Cost of Evaluation TBM = Total capital cost of CM + Annual maintenance cost of CM

$$\text{Cost of Evaluation TBM} = TC_{Cap} + \sum TC_{ACM} \quad (5-10)$$

Total capital cost of CM yang ada pada jurnal ini menggunakan biaya investasi peralatan untuk mesin rajut berupa investasi kamera *webcam*, investasi *personal computer* dan biaya instalasi. Biaya *capital* hanya terdapat pada awal pemasangan dari *monitoring* secara *real time*.

Total capital cost of CM = (Jumlah kamera x Harga investasi kamera) + (Jumlah personal computer x Harga personal computer) + Biaya instalasi

$$TC_{Cap} = (n_{IC} \times C_{IC}) + (n_{IPC} \times C_{IPC}) + C_{Installation} \quad (5-11)$$

Total annual maintenance cost of CM adalah komponen biaya yang dibutuhkan tiap periode waktu. Komponen biaya yang termasuk didalamnya hampir sama seperti biaya untuk TBM tetapi terdapat penambahan biaya untuk *annual cost monitoring*. Biaya yang ada hampir sama seperti biaya TBM hal ini dikarenakan masih terdapatnya produk cacat yang ada sehingga *failure consequence* masih tetap diperhitungkan.

Total cost of annual maintenance = Total cost monitoring + Biaya repair + Biaya preventive + Annual cost reservation + Biaya pekerja(melakukan perawatan)

$$\sum TC_{AM} = TC_{Monitoring} + \sum TC_{r_n} + \sum TC_{M_n} + A_{CR} + \sum TC_{LB} \quad (5-12)$$

Total cost of monitoring adalah biaya yang terjadi karena pemantauan terhadap produk cacat. Pemantauan mesin rajut menggunakan kamera *webcam* dan *personal computer* sehingga biaya *monitoring* berupa daya listrik yang digunakan untuk menghidupkan alat.

Total cost of monitoring = Total hari kerja x *Power rating personal computer* x Total penggunaan jam per hari x Biaya listrik per kWh

$$TC_{Monitoring} = N_{dy} \times PR_{PC} \times W_{hr} \times C_{EH} \quad (5-13)$$

Biaya *preventive maintenance* yang ada pada evaluasi TBM seperti persamaan yang ada pada (5-2). Sedangkan untuk biaya *repair* mengadaptasi dari persamaan (5-3) dengan mempertimbangkan keadaan di perusahaan sarung tangan rajut. Biaya *repair* merupakan banyaknya biaya penggantian jarum yang harus dikeluarkan selama produksi. Biaya *labor* adalah biaya tenaga kerja selama melakukan perawatan *preventive* dan *repair*. Untuk biaya tambahan yang ada adalah biaya *condition monitoring* alat baru.

Dimana:

A_{CR} = *annual cost reservation*

C_{MT} = *Biaya material*

L_{RT} = *Biaya tenaga kerja*

T = *period under consideration*

W_{hr} = *jam kerja per hari*

R_P = *Rata- rata tingkat profuksi*

C_{EH} = *Biaya energy tiap kWh*

α = *Tingkat kegagalan*

N_{oil} = *oli yang digunakan (liter)*

N = *Jumlah mesin*

P_P = *Pengurangan harga produk*

R_f = *Jumlah Produk cacat*

$TC_{Monitoring}$ = *Total biaya monitoring*

$C_{Installation}$ = *Biaya instalasi*

n_{IC} = *jumlah kamera*

PR_{PC} = *Tingkat daya Personal computer*

TCr_n = *biaya repair*

TC_{PL} = *Total biaya production losses*

TC_{MT} = *Total biaya material*

TC_{LB} = *Total biaya tenaga kerja*

TC_{AS} = *Total biaya access*

F_C = *Konsekuensi kegagalan*

N_{dy} = *Jumlah hari kerja per bulan*

E_{OP} = *Total energy keluar pada waktu T*

N_{Pn} = *Jumlah tenaga kerja*

Cm_{oil} = *harga oli (liter)*

n = *jumlah periode*

N_T = *Jumlah turbines di wind farm*

TC_{Cap} = *Total biaya kapital CBM*

C_{IC} = *Biaya investasi kamera*

n_{IPC} = *jumlah personal computer*

TC_{ACBM} = *Total cost annual CBM*

Cm = *Biaya perawatan*

Cr_{jarum} = *Harga jarum*

B_{jarum} = total jarum patah

TCM_n = biaya *preventive maintenance* per bulan

PR_{KM} = Tingkat daya kW (*knitting machine*)

PR_K = Tingkat daya kW (*kompresor*)

C_{IPC} = Biaya investasi *personal computer*

Ilustrasi perbedaan antara *time based maintenance* dan evaluasi TBM menggunakan dua model biaya dari literatur yang telah dimodifikasi sesuai keadaan dan digunakan untuk menggambarkan perbedaan. Biaya TBM yang termasuk didalamnya adalah biaya *preventive*, biaya *repair*, biaya *labor* selama perawatan dan biaya akibat kegagalan produksi. Sedangkan untuk evaluasi TBM, biaya yang dipertimbangkan yaitu biaya investasi mesin dan biaya *annual CM* dimana didalamnya termasuk biaya *condition monitoring*, biaya *preventive maintenance*, biaya tenaga kerja untuk melakukan perawatan, konsekuensi kegagalan dan biaya *repair*. Tabel 5.3 menjelaskan mengenai perbedaan TBM dan pengaplikasian evaluasi TBM (*automatic shutdown*) di mesin rajut.

Tabel 5. 3 Perbedaan Biaya TBM dan Pengaplikasian Evaluasi TBM (*automatic shutdown*)

TBM (<i>existing</i>)	Evaluasi TBM (<i>automatic shutdown</i>)
Biaya <i>preventive</i>	Biaya <i>preventive</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Pemberian oli tiap 8 jam • Pembersihan benang tiap 8 jam (kompresor) • Biaya tenaga kerja selama perawatan 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemberian oli tiap 8 jam • Pembersihan benang tiap 8 jam (kompresor) • Biaya tenaga kerja selama perawatan
Biaya <i>repair</i> (ganti jarum)	Biaya <i>repair</i> (ganti jarum)
Jarum patah diidentifikasi ketika karyawan menemukan produk cacat	Jarum patah diidentifikasi ketika menemukan 1 produk cacat.
Biaya konsekuensi kegagalan	Biaya konsekuensi kegagalan
<ul style="list-style-type: none"> • Biaya <i>material</i> • Biaya <i>labor</i> • Biaya produksi 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya <i>material</i> • Biaya <i>labor</i> • Biaya produksi
	Biaya investasi dan biaya operasional CBM
	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya investasi <i>personal computer</i> • Biaya investasi 77 webcam • Biaya instalasi & pemasangan <i>software</i> • Biaya operasional penggunaan listrik untuk CBM

5.3 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang terkait pada penelitian berupa data sekunder dan data primer. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari perusahaan tentang data biaya yang dilakukan untuk perawatan. Sedangkan data primer adalah data yang diperoleh

melalui pengamatan dan pengukuran secara langsung berupa banyaknya produk cacat yang ada di mesin rajut ketika perawatan secara *time based maintenance* dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*).

5.3.1 Rata- Rata Produk Baik

Rata- rata produk baik merupakan rata- rata produk yang dihasilkan pada satuan waktu tertentu tanpa adanya produk cacat. Pada tahap ini akan dilakukan perbandingan dari banyaknya rata- rata produksi ketika menggunakan TBM dan setelah pengaplikasian evaluasi TBM (*automatic shutdown*).

5.3.1.1 Rata- Rata Produk Baik dengan *Time Based Maintenance (Existing)*

Tabel 5.4 adalah data produksi perusahaan sarung tangan rajut berupa total produk baik pada bulan April 2017- April 2018 pada proses rajut sarung tangan tanpa adanya cacat. Produksi dilakukan selama 24 jam sehingga terdapat 3 shift dalam sehari. Terdapat 4 grup tiap shift yang ada dalam proses produksi mesin rajut dimana tiap grup bertanggung jawab pada 77 mesin dengan 4 orang pekerja. Rata- rata produksi sarung tangan rajut tiap bulan sebesar sekitar 4.095.336 pcs sarung tangan.

Tabel 5. 4 Total Produk Baik Bulan April 2017- April 2018 (dalam pcs)

Bulan	Total Produk Baik (Pcs)
April '17	3.804.168
Mei '17	3.661.944
Juni '17	3.126.432
Juli '17	3.226.776
Agustus '17	4.203.384
September '17	4.019.808
Oktober '17	4.266.072
November '17	4.719.624
Desember '17	4.394.592
Januari '18	4.265.304
Februari '18	5.046.072
Maret '18	4.138.680
April '18	4.366.512
Total Produk Baik	53.239.368

Total produksi yang ada pada Tabel 5.4 menunjukkan produksi sarung tangan untuk keseluruhan mesin rajut yang ada di perusahaan tanpa adanya cacat. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa produksi yang dilakukan selama satu tahun adalah 53.239.368 pcs atau sekitar per hari adalah sebesar 163.813,44 pcs sarung tangan. Mesin rajut yang ada di

perusahaan sebanyak 308 mesin, sehingga produksi sarung tangan rajut per mesin per hari yang bekerja selama 24 jam menghasilkan sekitar 532 pcs sarung tangan.

5.3.1.2 Rata- Rata Produk dengan Penerapan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*)

Rata- rata produksi sarung tangan untuk mesin rajut merupakan jumlah produk yang lolos uji dan jumlah produk yang cacat. Hal ini dikarenakan masih terdapatnya produk cacat dalam pengaplikasian evaluasi TBM. Pengaplikasian evaluasi TBM (*automatic shutdown*) menyebabkan rata- rata produk yang lolos uji lebih banyak dibandingkan penerapan TBM (*existing*) yang telah dilakukan perusahaan sebelumnya. Sehingga dengan bahan baku yang sama, maka rata- rata produk setelah penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) berupa rata- rata keseluruhan produk cacat dan baik di TBM (*existing*) dikurangi dengan jumlah jarum cacat.

5.3.2 Produk cacat

Produk cacat atau tingkat kegagalan merupakan data banyaknya kegagalan pada waktu tertentu. Pada tahap pengumpulan data akan dilakukan perhitungan banyaknya cacat untuk kumpulan mesin rajut tertentu yang akan diaplikasikan evaluasi TBM (*automatic shutdown*).

5.3.2.1 Produk cacat untuk *Time Based Maintenance (Existing)*

Proses produksi mesin rajut dilakukan selama 25 hari kerja selama satu bulan. Tabel 5.5 merupakan data produk cacat selama satu tahun pada bulan April 2017 – April 2018 pada proses rajut. Jumlah produk cacat selama satu tahun adalah 531.840 pcs sehingga rata- rata per bulan produk cacat yaitu sekitar 40.9111 pcs sarung tangan.

Tabel 5. 5 Produk Cacat selama Satu Tahun (dalam pcs)

Bulan	Total Produk Cacat (pcs)
April '17	35.040
Mei '17	39.000
Juni '17	29.544
Juli '17	36.024
Agustus '17	44.424
September '17	38.568
Oktober '17	43.680
November '17	45.000
Desember '17	45.096
Januari '18	42.816
Februari '18	50.400
Maret '18	38.592
April '18	43.656
Total Produk Cacat	531.840

Berdasarkan data total produk baik dan data produk cacat, Tabel 5.6 merupakan rangkuman data total produksi dan produk cacat selama satu tahun yaitu bulan April 2017- April 2018 pada proses rajut.

Tabel 5. 6 Keseluruhan Poduksi April 2017- April 2018 (pcs)

Bulan	Total Produk Baik (Pcs)	Total Produk Cacat (Pcs)	Total Produksi	% Produk Cacat
April '17	3.804.168	35.040	3.839.208	0.91
Mei '17	3.661.944	39.000	3.700.944	1.05
Juni '17	3.126.432	29.544	3.155.976	0.94
Juli '17	3.226.776	36.024	3.262.800	1.10
Agustus '17	4.203.384	44.424	4.247.808	1.05
September'17	4.019.808	38.568	4.058.376	0.95
Oktober '17	4.266.072	43.680	4.309.752	1.01
November'17	4.719.624	45.000	4.764.624	0.94
Desember '17	4.394.592	45.096	4.439.688	1.02
Januari '18	4.265.304	42.816	4.308.120	0.99
Februari '18	5.046.072	50.400	5.096.472	0.99
Maret '18	4.138.680	38.592	4.177.272	0.92
April '18	4.366.512	43.656	4.410.168	0.99
Total	53.239.368	531.840	53.771.208	

Produk cacat dapat ditentukan dengan melihat data produk cacat selamasatu tahun, didapatkan rata- rata produk cacat sebesar 0,99 % untuk 308 mesin selama satu tahun. Sehingga produk cacat untuk 77 mesin untuk satu tahun yang bekerja selama 24 jam sekitar $\pm 0,25\%$.

Banyaknya produk yang cacat per hari berdasarkan data tersebut adalah sebesar $\pm 1.636,43$ pcs sarung tangan untuk 3 shift, 308 mesin rajut yang bekerja selama 24 jam. Dari data Tabel 4.3 diketahui bahwa produk baik satu mesin rajut per hari nya ± 531 pcs sarung tangan dan untuk produk cacat sebanyak ± 5 pcs sarung tangan. Banyaknya produk cacat sarung tangan rajut yang ada disebabkan karena adanya jarum yang patah. Berdasarkan data yang diperoleh dari perusahaan banyaknya jarum yang diganti per hari untuk jarum panjang adalah ± 318 biji dan jarum pendek sebesar ± 197 biji dengan total keseluruhan jarum sebanyak ± 529 biji jarum per hari.

5.3.2.2 Produk Cacat untuk Penerapan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*)

Produk cacat yang ada pada penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) mesin rajut di perusahaan sarung tangan rajut masih tetap ada. Hal ini dikarenakan penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang diterapkan untuk mendeteksi jarum patah harus menunggu sampai adanya produk cacat dahulu. Sehingga didapatkan jumlah cacat produk sarung tangan sama dengan atau kurang dari jumlah jarum yang harus diganti di pabrik. Sebelumnya pada keadaan

existing jumlah jarum panjang yang harus diganti per hari untuk jarum panjang adalah ± 332 biji dan jarum pendek sebesar ± 197 biji dengan total keseluruhan jarum sebanyak ± 529 biji jarum per hari dalam sehari untuk 308 mesin rajut.

Rata- rata produk cacat per bulan untuk TBM (*existing*) adalah sebesar 40.910 pcs. Penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang dilakukan di mesin rajut untuk menurunkan jumlah produk cacat, sehingga ketika menemukan satu produk cacat maka mesin akan dihentikan. Sehingga produk cacat untuk CBM yaitu sama dengan banyaknya jarum yang patah selama satu bulan yaitu ± 12.697 pcs. Perbedaan produk cacat yang terjadi antara TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yaitu sekitar ± 28.213 pcs. Sehingga *failure rate* evaluasi TBM (*automatic shutdown*) adalah 165.064 pcs untuk total produksi TBM 53.771.208 pcs yaitu sebesar 0,08% untuk 77 mesin. Tabel 5.7 menunjukkan keseluruhan jarum patah untuk bulan April 2017- April 2018.

Tabel 5. 7 Keseluruhan Jarum Patah April 2017 – April 2018

No	Bulan - Tahun	Jml Hari aktif dlm bulan	Pemakaian Part (Pcs)		
			Jarum panjang	Jarum pendek	Total
1	April '2017	25	8362	4253	12615
2	Mei '2017	26	8962	4594	13556
3	Juni '2017	24	7565	4660	12225
4	Juli '2017	24	7440	4675	12115
5	Agustus '2017	23	7285	4440	11725
6	September'2017	23	7590	4600	12190
7	Oktober '2017	18	5520	3384	8904
8	November'2017	26	8580	5200	13780
9	Desember'2017	26	8580	5200	13780
10	Januari '2018	24	7916	4705	12621
11	Februari '2018	27	9676	5834	15510
12	Maret '2018	23	8034	4905	12939
13	April '2018	23	8125	4979	13104
Total dalam satu tahun			103635	61429	165064

5.4 Pengolahan Data

Setelah memperoleh data yang dibutuhkan, maka langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan dalam penelitian ini.

5.6.1 Perhitungan Biaya *Time Based Maintenance* (Existing)

Perhitungan biaya menggunakan TBM merupakan perhitungan yang dilakukan berdasarkan apa yang telah dilakukan perusahaan sarung tangan rajut sebelumnya menggunakan perawatan *time based maintenance* berupa *corrective maintenance* untuk mengganti jarum yang patah dan *preventive maintenance* berupa pemberian oli pelumas dan pembersihan mesin rajut menggunakan kompresor tiap delapan jam sekali. Tabel 5.8 adalah biaya yang dibutuhkan untuk penerapan *time based maintenance*.

Tabel 5. 8 Biaya *Time Based Maintenance*

Raw material			
	Harga	Pemakaian (per hari)	Pemakaian (tiap hari per mesin)
Benang rajut	±Rp3.200.000/bal *1 bal =181,44 kg	± 3.533,67 kg/ hari	± 11,7 kg/ hari
Benang karet	Rp. 57.000/kg	± 93,46 kg/ hari	± 0,31 kg/ hari
Biaya Perawatan (Preventive Maintenance)			
	Harga	Pemakaian (per hari)	Pemakaian (tiap hari per mesin)
Knitting Oil	Rp 17.500/liter	± 12 liter	± 0,04 liter
Daya			
Kompresor (2,2 kWh)	Rp 1.467,25 /kWh	±12 jam	
Biaya Perawatan (<i>Corrective Maintenance</i>) = $\sum C_{MT}$			
	Harga	Pemakaian (per shift per hari)	
L1 jarum panjang	Rp 1.300/pcs	± 103.635 pcs / tahun	
L2 jarum pendek	Rp 1.300/pcs	±61.429 pcs / tahun	
Failure consequence			
	Harga	Pemakaian (per shift per hari)	Pemakaian (tiap hari per mesin)
Power rate mesin rajut (WT_{PR}) = 0,18 kWh	Rp 1.467,25 /kWh	24 jam/ hari	24 jam/ hari
Hari aktif kerja (N_{dy})= 25 hari			
Biaya Tenaga Kerja			
Gaji pegawai	Rp 3.580.369,56		
Satu hari terdapat 3 shift dimana tiap shift terdapat 4 kelompok dan 4 pekerja sehingga jumlah pekerja 48 pekerja			

Lanjutan Tabel 5. 8 Biaya *Time Based Maintenance*

Production loss			
	Harga	Pemakaian (per shift per hari)	Pemakaian (tiap hari per mesin)
<i>Mean production rate (R_p)</i>		± 164.238,4 pcs/ hari	±533,24 pcs / mesin/ hari
<i>Mean product price (P_p)</i>	Rp 15.000/24 pcs		
Harga produk yang ditisik	Rp 8000,00/24 pcs	Produk yang bisa diperbaiki sebesar 45%	

Berikut adalah perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk TBM mesin rajut di perusahaan sarung tangan rajut:

$$\begin{aligned}\sum TCM_n &= [N_{oil} \times C_{m_{oil}}] + [PR_K \times C_{EH} \times N_{dy} \times W_{hr}] \\ &= [(12 \text{ liter} \times 25 \text{ hari}) \times \text{Rp } 17.500] + [2,2 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.467,25/\text{kWh} \times 25 \times 12] \times 12 \\ &= \text{Rp } 74.620.620,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum TCr_n &= B_{jarum} \times Cr_{jarum} \\ &= 165.064 \times \text{Rp } 13.000,00 \\ &= \text{Rp } 214.583.200,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum TC_{LB} &= N_{pn} \times \frac{L_{RT}}{8} \times W_{hr} \\ &= 4 \times 3 \times \frac{\text{Rp } 3.580.369,56}{8} \times 1 \times 12 \\ &= \text{Rp } 64.446.652,08\end{aligned}$$

Preventive maintenance yang dilakukan perusahaan selama satu tahun untuk 308 mesin yang bekerja selama 24 jam yaitu sebesar Rp 74.620.620,00. Sehingga biaya yang dibutuhkan 77 mesin rajut sekitar Rp 18.655.155,00. Biaya *repair* jarum patah yang harus dikeluarkan perusahaan selama satu tahun untuk 308 mesin adalah sebesar Rp 214.583.200,00. Dari data tersebut, biaya tiap tahun 77 mesin rajut untuk *repair* sebesar Rp 53.645.800,00. Biaya tenaga kerja dalam satu kelompok kerja yang melakukan kegiatan perawatan selama sekitar satu jam per hari dalam satu tahunnya adalah sekitar Rp 64.446.652,08.

$$\begin{aligned}TC_{PL} &= N_{dy} \times PR_{KM} \times W_{hr} \times C_{EH} \\ &= 25 \times (250/1.000) \times 24 \text{ jam} \times \text{Rp } 1.467,25 \times 12 \\ &= \text{Rp } 26.410.500,00\end{aligned}$$

Biaya *production loss* (penggunaan listrik) yang dikeluarkan untuk satu mesin rajut yang bekerja selama 24 jam selama satu tahun adalah Rp 26.410.500,00. Mesin rajut yang ada di perusahaan bekerja selama 25 hari, biaya per tahun untuk 77 mesin rajut adalah sebesar Rp 2.033.608.500,00.

$$\begin{aligned}
 TC_{MT} &= N_{dy} \times \sum C_{MT} \\
 &= 25 \times [(3.533,67 \text{ kg} \times \text{Rp } 3.200.000/181,44\text{kg}) + (93,46 \times \text{Rp } 57.000,00)] \\
 &= 25 \times \text{Rp } 67.649.422,22 \times 12 \\
 &= \text{Rp } 20.294.832.667,00
 \end{aligned}$$

Biaya material yang dikeluarkan perusahaan untuk pembuatan mesin rajut yaitu biaya benang rajut dan biaya benang karet. Total biaya material yang dikeluarkan selama satu tahun untuk 308 mesin adalah sebesar Rp 20.294.832.667,00. Sehingga besar biaya yang dikeluarkan selama satu tahun untuk 77 mesin rajut adalah sebesar Rp 5.073.708.166,67.

$$\begin{aligned}
 TC_{LB} &= N_{Pn} \times L_{RT} \\
 &= 4 \times 3 \times \text{Rp } 3.580.369,56 \times 12 \\
 &= \text{Rp } 515.573.216,64
 \end{aligned}$$

Tenaga kerja yang ada di perusahaan bekerja dengan sistem shift dimana tiap shift dalam aatu kelompok kerja (77 mesin) sebanyak 4 orang sehingga dalam satu hari pekerja yang ada sebanyak 12 orang. Total biaya tenaga kerja selama satu tqhun adalah Rp Rp 515.573.216,64.

Tabel 5. 9 *Failure Consequence* Mesin Rajut Selama Satu Tahun Untuk Satu Mesin (TBM)

<i>Failures Modes</i> (Mesin Rajut)		Biaya	
<i>Failure Consequence</i>	TC_{PL}	Rp	2.033.608.500,00
	TC_{MT}	Rp	5.073.708.166,67
	TC_{LB}	Rp	515.573.216,64
Total (F_c)		Rp	7.622.889.883,31
α		0,25%	

$$\begin{aligned}
 A_{CR} &= 0,25\% \times \text{Rp } 7.622.889.883,31 \\
 &= \text{Rp } 19.057.224,71
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan konsekuensi kegagalan untuk 77 mesin selama satu tahun sebesar Rp 19.057.224,71. Tabel 5.10 adalah keseluruhan biaya TBM mesin rajut

Tabel 5. 10 Biaya TBM untuk Satu Mesin Rajut Selama Satu Tahun untuk 77 mesin rajut

Mesin Rajut		
$\sum TCM_n$	Rp	18.655.155,00
$\sum TCr_n$	Rp	53.645.800,00
$\sum TC_{LB}$	Rp	64.446.652,08
A_{CR}	Rp	19.057.224,71
Total	Rp	155.804.831,79

Biaya yang dikeluarkan untuk *time based maintenance* yaitu biaya *preventive maintenance*, biaya *repair*, biaya tenaga kerja yang melakukan perawatan dan biaya konsekuensi kegagalan. Berdasarkan Tabel 5.10, total biaya yang dikeluarkan untuk 77 mesin rajut selama satu tahun sebesar Rp 155.804.831,79.

5.6.2 Perhitungan Biaya Evaluasi TBM (*automatic shutdown*)

Perhitungan biaya menggunakan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) merupakan perhitungan yang dilakukan berdasarkan pada pengimplementasian *monitoring* produk cacat yang dilakukan di mesin rajut. Implementasi yang dilakukan berupa investasi pada kamera webcam dan juga *personal computer*. Biaya yang dibutuhkan selain pada alat juga pada instalasi *software* untuk mendeteksi adanya cacat menggunakan *image processing*. Biaya evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang diperlukan hampir sama seperti yang dilakukan sebelumnya yaitu menggunakan *capital cost of CM* dan *annual maintenance cost of CM*.

Tabel 5. 11 Biaya Investasi Evaluasi TBM

Evaluasi TBM	
Jumlah mesin rajut	77
Daya mesin rajut	@ 0, 18 kWh
Harga HAVIT Webcam [HV-V612]	@ Rp 125.000
Harga <i>personal computer</i>	@ Rp 10.000.000
Core 15 Box 6500, Board Asus H110d, Hdd 1tb Seagate, Ddr4 Gb, Dvdrw, Casing, Monitor LED 20" LG, Key + Mouse Logitech	
Biaya pemasangan	Rp 10.000.000,00
Daya computer	250 watt

Berikut adalah perhitungan yang dilakukan untuk evaluasi TBM (*automatic shutdown*) di mesin rajut perusahaan sarung tangan rajut:

$$\begin{aligned}
 TC_{cap} &= (n_{IC} \times C_{IC}) + (n_{IPC} \times C_{IPC}) + C_{Installation} \\
 &= 77 \times 125.000 + 10.000.000 + 10.000.000 \\
 &= \text{Rp } 29.625.000,00
 \end{aligned}$$

Biaya *capital investment* untuk pendeteksi cacat di mesin rajut dengan investasi pada kamera webcam, *personal computer* dan instalasi untuk *image processing* sebesar Rp 29.625.000. Pemasangan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) di satu mesin rajut menggunakan 77 kamera webcam dan satu *personal computer*.

$$\begin{aligned}
 TC_{Monitoring} &= N_{dy} \times PR_{PC} \times W_{hr} \times C_{EH} \\
 &= 25 \times 250 \text{ watt} / 1.000 \times 24 \text{ jam} \times \text{Rp } 1.467,25 / \text{kWh} \times 12 \\
 &= \text{Rp } 2.641.050,00
 \end{aligned}$$

Biaya untuk *annual maintenance Condition Monitoring* yaitu biaya listrik yang digunakan untuk pengoperasian *personal computer* yang bekerja selama 24 jam dalam satu tahun sebesar Rp 2.641.050,00.

$$\begin{aligned}
 \sum TCM_n &= [N_{oil} \times C_{m_{oil}}] + [PR_K \times C_{EH} \times N_{dy} \times W_{hr}] \\
 &= [(12 \text{ liter} \times 25 \text{ hari}) \times \text{Rp } 17.500] + [2,2 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.467,25 / \text{kWh} \times 25 \times 12] \times 12 \\
 &= \text{Rp } 74.620.620,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum TCr_n &= B_{jarum} \times Cr_{jarum} \\
 &= 165.064 \times \text{Rp } 13.000,00 \\
 &= \text{Rp } 214.583.200,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum TC_{LB} &= N_{Pn} \times \frac{L_{RT}}{8} \times W_{hr} \\
 &= 4 \times 3 \times \frac{\text{Rp } 3.580.369,56}{8} \times 1 \times 12 \\
 &= \text{Rp } 64.446.652,08
 \end{aligned}$$

Preventive maintenance yang dilakukan perusahaan selama satu tahun untuk 308 mesin yang bekerja selama 24 jam yaitu sebesar Rp 74.620.620,00. Sehingga biaya yang dibutuhkan 77

mesin rajut sekitar Rp 18.655.155,00. Biaya *repair* jarum patah yang harus dikeluarkan perusahaan selama satu tahun untuk 308 mesin adalah sebesar Rp 214.583.200,00. Dari data tersebut, biaya tiap tahun 77 mesin rajut untuk *repair* sebesar Rp 53.645.800,00. Biaya tenaga kerja dalam satu kelompok kerja yang melakukan kegiatan perawatan selama sekitar satu jam per hari dalam satu tahunnya adalah sekitar Rp 64.446.652,08.

$$\begin{aligned}
 TC_{PL} &= N_{dy} \times PR_{KM} \times W_{hr} \times C_{EH} \\
 &= 25 \times (250/1.000) \times 24 \text{ jam} \times \text{Rp } 1.467,25 \times 12 \\
 &= \text{Rp } 26.410.500,00
 \end{aligned}$$

Biaya *production loss*(penggunaan listrik) yang dikeluarkan untuk satu mesin rajut yang bekerja selama 24 jam selama satu tahun adalah Rp 26.410.500,00. Mesin rajut yang ada di perusahaan bekerja selama 25 hari, biaya per tahun untuk 77 mesin rajut adalah sebesar Rp 2.033.608.500,00.

$$\begin{aligned}
 TC_{MT} &= N_{dy} \times \sum C_{MT} \\
 &= 25 \times [(3.533,67 \text{ kg} \times \text{Rp } 3.200.000/181,44\text{kg}) + (93,46 \times \text{Rp } 57.000,00)] \\
 &= 25 \times \text{Rp } 67.649.422,22 \times 12 \\
 &= \text{Rp } 20.294.832.667,00
 \end{aligned}$$

Biaya material yang dikeluarkan perusahaan untuk pembuatan mesin rajut yaitu biaya benang rajut dan biaya benang karet. Total biaya material yang dikeluarkan selama satu tahun untuk 308 mesin adalah sebesar Rp 20.294.832.667,00. Sehingga besar biaya yang dikeluarkan selama satu tahun untuk 77 mesin rajut adalah sebesar Rp 5.073.708.166,67.

$$\begin{aligned}
 TC_{LB} &= N_{Pn} \times L_{RT} \\
 &= 4 \times 3 \times \text{Rp } 3.580.369,56 \times 12 \\
 &= \text{Rp } 515.573.216,64
 \end{aligned}$$

Tenaga kerja yang ada di perusahaan bekerja dengan sistem shift dimana tiap shift dalam aatu kelompok kerja (77 mesin) sebanyak 4 orang sehingga dalam satu hari pekerja yang ada sebanyak 12 orang. Total biaya tenaga kerja selama satu tahun adalah Rp 515.573.216,64.

Tabel 5. 12 *Failure Consequence* Mesin Rajut Selama Satu Tahun Untuk Satu Mesin (Evaluasi TBM (*automatic shutdown*))

<i>Failures Modes (Mesin Rajut)</i>		Biaya	
<i>Failure Consequence</i>	TC_{PL}	Rp	2.033.608.500,00
	TC_{MT}	Rp	5.073.708.166,67
	TC_{LB}	Rp	515.573.216,64
Total (F_C)		Rp	7.622.889.883,00
α		0,08%	

$$A_{CR} = 0,08\% \times \text{Rp } 7.622.889.883,00$$

$$= \text{Rp } 6.098.311,91$$

Berdasarkan perhitungan konsekuensi kegagalan untuk 77 mesin rajut selama satu tahun dengan tingkat kegagalan sebesar 0,08% sebesar Rp 6.098.311,91.

Tabel 5. 13 *Total cost annual CM* untuk 77 Mesin Rajut Selama Satu Tahun

	Biaya	
$TC_{Monitoring}$	Rp	2.641.050,00
$\sum TCM_n$	Rp	18.655.155,00
$\sum TC_{r_n}$	Rp	53.645.800,00
$\sum TC_{LB}$	Rp	64.446.652,08
A_{CR}	Rp	6.098.311,91
$\sum TC_{ACM}$	Rp	145.486.968,99

Biaya yang dikeluarkan untuk *condition based maintenance* yaitu biaya *capital of investment*, biaya *annual maintenance CM*, biaya *preventive maintenance*, biaya *repair*, biaya tenaga kerja dan biaya konsekuensi kegagalan. Biaya yang ada pada Tabel 5.13 merupakan biaya yang dikeluarkan per bulan sedangkan untuk biaya investasi dikeluarkan pada saat awal pengaplikasian evaluasi TBM (*automatic shutdown*) saja.

5.5 Perbandingan Biaya Menggunakan TBM dan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*)

Mesin rajut yang diaplikasikan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) sebanyak 77 dimana pengaplikasiannya menggunakan *image processing* yang akan menangkap cacat menggunakan kamera webcam yang akan diproses di *personal computer* dan akan langsung mematikan mesin rajut. *Life span* dari kamera menurut Munnwer et al. (2012) adalah 12 tahun untuk penggunaan *energy* dari kamera sebesar 4wh. Sedangkan menurut Trended et al. (2017), *economic life* dari video camera yaitu selama 6 tahun dengan mempertimbangkan trend dan untuk *personal computer* dan laptop yaitu selama 4 tahun. Terdapat beberapa pertimbangan untuk *economic*

life, menurut County, 2015 *economic life* dari *personal computer* yaitu 6 tahun. Penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) di perusahaan sarung tangan rajut yaitu menggunakan webcam dan *personal computer*, pertimbangan *economic life* yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya dan keadaan di lapangan. *Economic life* dari webcam ditetapkan selama 6 tahun dengan pertimbangan bahwa alat tersebut digunakan selama 24 jam dan juga adanya *trend technology* yang ada. *Personal computer* yang digunakan dalam penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) juga perlu mempertimbangkan *economic life* dimana ditetapkan selama 6 tahun sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya, meskipun pada prakteknya terkadang digunakan melebihi *economic life*. Analisis period dan penggunaan *discount rate* sebesar 5% dengan pertimbangan bunga deposito Bank BCA untuk pemasangan alat baru selama 6 tahun yang dipertimbangan dari biaya peminjaman modal investasi yang ada di bank.

Pertimbangan analisis *period* dan *discount rate* tersebut sebagai pertimbangan untuk menghitung TBM (*existing*) dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) selama periode tertentu. Untuk analisis yang mempertimbangkan *discounting factors* dengan perhitungan nilai sekarang.

Pertimbangan analisis ekonomi untuk TBM (*existing*) dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dilakukan ketika jumlah mesin rajut yang diinvestasikan sebanyak 77 mesin dengan kamera webcam sebanyak 77 mesin dan *personal computer* sebanyak 1 buah ditunjukkan pada Tabel 5.14:

Tabel 5. 14 Analisis Ekonomi untuk TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) (untuk 77 kamera *webcam* dan 1 komputer)

TBM (Existing)		Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>)	
Biaya per tahun TBM	Rp 155.804.831,79	$\sum TC_{ACM}$ per tahun	Rp 145.486.968,99
Analysis factor		Analysis factor	
Analysis period	6 tahun	Analysis period	6 tahun
Discount rate	5 %	Discount rate	5%
Discounting factors		Discounting factors	
PWA	5,08%	PWA	5,08%
Discount costs		Discount cost	
Biaya TBM	Rp790.817.348,75	$\sum TC_{ACM}$	Rp 738.447.054,38
		Capital cost CBM	Rp 29.625.000,00
Nilai sekarang TBM	Rp790.817.348,75	Nilai sekarang Evaluasi TBM	Rp 768.072.054,38
Unit Baik	80.218.044,00	Unit Baik	80,520,634.20
Nilai sekarang TBM/ Unit Baik	9,86	Nilai sekarang Evaluasi TBM/ Unit Baik	9,54

Tabel 5.15 menjelaskan analisis nilai sekarang dengan jumlah produk baik yang dihasilkan dimana produk baik merupakan produk baik dan produk hasil tisik (produk cacat yang masih bisa di perbaiki). Perawatan TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dihitung selama 6 tahun, hasil dari total biaya perawatan dibagi dengan banyaknya produk baik untuk melihat nilai yang lebih kecil. Berdasarkan perhitungan Tabel 5.15, perawatan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) menghasilkan nilai sekarang per satuan produk baik yang lebih rendah dari TBM.

Tabel 5. 15 Analisis Nilai Sekarang/Unit Baik untuk TBM dan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*) (untuk 77 kamera *webcam* dan 1 komputer)

TBM								
	-	1	2	3	4	5	6	Total
Unit yang dibuat		13.442.802	13.442.802	13.442.802	13.442.802	13.442.802	13.442.802	80.656.812
Biaya TBM	-	155.804.831,8	155.804.831,8	155.804.831,8	155.804.831,8	155.804.831,8	155.804.831,8	
Nilai sekarang	-	148.385.554,1	141.319.575,3	134.590.071,7	128.181.020,7	122.077.162,57	116.263.964,4	790.817.348,75
Unit baik		13.369.674,00	13.369.674,00	13.369.674,00	13.369.674,00	13.369.674,00	13.369.674,00	80.218.044,00
Nilai skrng/unit baik		11,10	10,57	10,07	9,59	9,13	8,70	9,86
Bunga	0,05							
Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>)								
		1	2	3	4	5	6	Total
Unit yang dibuat		13.442.802,00	13.442.802,00	13.442.802,00	13.442.802,00	13.442.802,00	13.442.802,00	
Biaya evaluasi TBM	29.625.000,0	145.486.969	145.486.969	145.486.969	145.486.969	145.486.969	145.486.969	
Nilai sekarang	29.625.000,0	138.559.018,1	131.960.969,6	125.677.113,9	119.692.489,4	113.992.847,08	108.564.616,3	768.072.054,38
Unit baik		13.420.105,70	13.420.105,70	13.420.105,70	13.420.105,70	13.420.105,70	13.420.105,70	80.520.634,20
Nilai sekarang/unit baik		10,32	9,83	9,36	8,92	8,49	8,09	9,54
Bunga	0,05							

5.6 Perbandingan Biaya Produksi TBM dan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*)

Pada bab sebelumnya telah dihitung biaya perawatan untuk TBM (*existing*) dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dimana pada biaya TBM terdapat biaya *preventive*, *repair*, *tenaga kerja* dan konsekuensi kegagalan. Sedangkan untuk evaluasi TBM (*automatic shutdown*) biaya yang dibutuhkan sama hanya ditambah dengan biaya investasi berupa *personal computer* dan *webcam*, biaya pemasangan instalasi *software* dan biaya operasional yang dilakukan tiap produksi. Tabel 5.16 menunjukkan perhitungan biaya yang diperlukan untuk biaya produksi TBM (*existing*) dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) tetapi belum memasukkan investasi untuk kamera *webcam* dan *personal computer*.

Tabel 5. 16 Total Biaya Produksi TBM dan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*) (untuk 77 kamera *webcam* dan 1 komputer) tiap tahun

	TBM (<i>existing</i>)		Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>)	
Biaya preventive	Rp	18.655.155,00	Rp	18.655.155,00
Biaya repair	Rp	53.645.800,00	Rp	53.645.800,00
Biaya operasional CBM			Rp	2.641.050,00
Biaya Material	Rp	5.073.708.166,67	Rp	5.073.708.166,67
Biaya Labor	Rp	64.446.652,08	Rp	64.446.652,08
Biaya Proses (daya listrik)	R	2.033.608.500,00	Rp	2.033.608.500,00
Total Biaya	Rp	7.244.064.273,75	Rp	7.246.705.323,75

Berdasarkan Tabel 5.16, biaya yang diperlukan selama setahun untuk produksi TBM yaitu sebesar Rp 7.244.064.273,75. Biaya yang diperlukan untuk produksi di mesin rajut menggunakan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) selama satu tahun untuk 77 mesin rajut adalah Rp 7.246.705.323,75.

Tabel 5.17 menunjukkan analisis nilai sekarang per satuan produk baik untuk TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) selama 6 tahun. Meskipun total biaya produksi untuk evaluasi TBM (*automatic shutdown*) lebih tinggi dari TBM karena adanya investasi mesin, pemasangan *software* dan biaya operasional tetapi nilai sekarang per satuan produk baiknya lebih rendah. Hal tersebut dikarenakan jumlah produk baik yang ada di evaluasi TBM (*automatic shutdown*) lebih banyak dihasilkan dibandingkan produk cacat yang ada di TBM (*existing*).

Tabel 5. 17 Analisis Nilai Sekarang/Unit Baik untuk Biaya Produksi di Mesin Rajut Menggunakan TBM dan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*)
(untuk 77 kamera *webcam* dan 1 komputer)

TBM								
	-	1	2	3	4	5	6	Total
Unit yang dibuat		13.442.802	13.442.802	13.442.802	13.442.802	13.442.802	13.442.802	80.656.812
Biaya Produksi TBM	-	7.244.064.273	7.244.064.273	7.244.064.273	7.244.064.273	7.244.064.273	7.244.064.273	
Nilai sekarang	-	6.899.108.832	6.570.579.840	6.257.695.085	5.959.709.605	5.675.913.910	5.405.632.295	36.768.639.569
Unit baik		13.369.674,00	13.369.674,00	13.369.674,00	13.369.674,00	13.369.674,00	13.369.674,00	80.218.044,00
Nilai sekarang/unit baik		516,03	491,45	468,05	445,76	424,54	404,32	458,36
Bunga	0,05							
Evaluasi TBM (Automatic Shutdown)								
		1	2	3	4	5	6	Total
Unit yang dibuat		13.442.802,00	13.442.802,00	13.442.802,00	13.442.802,00	13.442.802,00	13.442.802,00	
Biaya Produksi Evaluasi TBM	29.625.000	7.246.705.324	7.246.705.324	7.246.705.324	7.246.705.324	7.246.705.324	7.246.705.324	
Nilai sekarang	29.625.000	6.901.624.117	6.572.975.350	6.259.976.524	5.961.882.403	5.677.983.241	5.407.603.087	36.811.669.725
Unit baik		13.420.105,70	13.420.105,70	13.420.105,70	13.420.105,70	13.420.105,70	13.420.105,70	80.520.634,20
Nilai sekarang/unit baik		514,27	489,79	466,46	44,25	423,10	402,95	457,17
Bunga	0,05							

5.7 Aspek Perbedaan TBM *Existing* dan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*)

Bab ini membahas keuntungan atau benefit yang didapat dari investasi untuk evaluasi TBM (*automatic shutdown*) mesin rajut berupa kamera webcam dan *personal computer*. Dalam satu harinya ketika belum ada investasi mesin banyaknya cacat produk sekitar ± 409 pcs untuk 77 mesin rajut. Sedangkan ketika sudah diimplementasikan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) cacat produk bisa dikurangi per harinya sebanyak 132 pcs sarung tangan untuk 77 mesin rajut. Pengimplemtasian evaluasi TBM (*automatic shutdown*) untuk mesin rajut di perusahaan sarung tangan rajut sebanyak 77 mesin sehingga dalam setahunnya dapat mengurangi cacat produk sebanyak 91.694 pcs produk. Pertimbangan besarnya bunga deposito Bank BCA sebesar 5% dan tidak dipertimbangkan adanya pajak yang harus ditanggung perusahaan dengan adanya usulan investasi mesin baru. Berdasarkan Tabel 5.14, biaya penggunaan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) lebih murah dibandingkan dengan TBM sehingga dapat dinyatakan bahwa penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) mesin rajut layak diterapkan di perusahaan. Sedangkan berdasarkan Tabel 5.17 tentang biaya proses produksi untuk TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*). Nilai sekarang evaluasi TBM (*automatic shutdown*) tiap produk baik lebih rendah dibandingkan TBM. Tabel 5.18 adalah perhitungan biaya yang bisa dihasilkan perusahaan ketika mesin rajut memproduksi sarung rajut dengan menggunakan strategi TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*):

Tabel 5. 18 Biaya yang didapatkan dari Penerapan Strategi TBM Dan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*)

TBM	Evaluasi TBM (<i>Automatic Shutdown</i>)
Produk baik selama satu tahun = 13.309.842 x Rp 15.000 = Rp 199.647.630.000	Produk baik selama satu tahun = 13.401.536 x Rp 15.000 = Rp 201.023.040.000
Produk yang sudah ditisik selama satu tahun = 59.832 x Rp 6.000 = Rp 358.992.000	Produk yang sudah ditisik selama satu tahun = 18.570 x Rp 6.000 = Rp 111.420.000
Total pendapatan =Rp 200.006.622.000	Total pendapatan = Rp 201.134.460.000
Produk cacat yang tidak bisa diperbaiki = 73.128	Produk cacat yang tidak bisa diperbaiki = 22.696

Produk baik yang dihasilkan pada penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) lebih banyak dihasilkan, hal tersebut cukup menguntungkan di perusahaan karena bisa mengurangi adanya produk cacat dibandingkan perawatan sebelumnya (TBM *existing*).

BAB VI

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab analisis dan pembahasan akan membahas terkait hasil pengolahan perawatan yang dilakukan menggunakan *time based maintenance* (keadaan *existing*) (TBM) dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) untuk mesin rajut di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR).

6.1. Analisa Hasil *Time Based Maintenance* (TBM)

Penelitian ini membahas mengenai perawatan pada mesin rajut di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR). Mesin rajut menjadi fokus penelitian ini karena banyaknya cacat produk yang terjadi akibat jarum yang patah tidak teridentifikasi dengan cepat. Proses rajut merupakan proses pertama yang akan mempengaruhi proses selanjutnya jika hasil sarung tangan rajut tidak sesuai spesifikasi. Mesin rajut yang ada di perusahaan bekerja selama 24 jam dan terdapat 3 shift pekerja. Perawatan yang dilakukan di perusahaan sebelumnya yaitu berupa *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. *Preventive maintenance* yang dilakukan berupa pemberian oli dan pembersihan mesin rajut menggunakan kompresor yang dilakukan setiap 8 jam sekali atau setiap pergantian shift. *Corrective maintenance* yang dilakukan di mesin rajut berupa pergantian jarum yang patah ketika terdapat sarung tangan yang cacat. Mesin rajut yang ada di perusahaan sebanyak 308 mesin, setiap 77 mesin rajut diawasi oleh 4 pekerja untuk melakukan *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

Penelitian ini membahas komponen biaya yang ada pada perawatan secara TBM (keadaan *existing*). Biaya yang termasuk didalam TBM di perusahaan sarung tangan rajut yaitu biaya *preventive maintenance*, biaya *repair*, biaya tenaga kerja untuk perawatan dan konsekuensi karena adanya kegagalan. Biaya *preventive maintenance* yang masuk didalamnya adalah biaya oli yang dikeluarkan tiap 8 jam dan juga biaya daya yang dikeluarkan ketika penggunaan kompresor. Biaya *repair* untuk mesin rajut yaitu total biaya yang dikeluarkan untuk penggantian jarum selama proses produksi. Konsekuensi kegagalan yang terjadi ketika adanya produk cacat dilihat dari *production loss* (penggunaan listrik), biaya *material* yang digunakan dan biaya tenaga kerja.

6.2. Analisis Hasil Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*)

Penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang dilakukan di mesin rajut perusahaan sarung tangan rajut tidak bisa secara penuh mengadaptasi CBM untuk mencegah terjadinya cacat

tetapi setidaknya bisa mengurangi cacat dengan melakukan *monitoring* secara *real time*. Investasi yang dilakukan berupa pendeteksian cacat menggunakan kamera *webcam* dengan *image processing* yang akan di transfer ke *personal computer* dan akan memberikan perintah untuk mematikan mesin. CBM merupakan salah satu alternative evaluasi TBM dimana perawatan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya cacat, tetapi untuk penerapan evaluasi TBM di mesin rajut perusahaan sangat sulit dilakukan. Identifikasi jarum yang patah sangat sulit ditentukan karena banyak faktor yang menyebabkan hal tersebut terjadi seperti operator, pengaturan mesin, pengaturan kecepatan, banyak serat benang yang menyumbat, minyak bocor, adanya gesekan berulang dengan mesin. Penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) di mesin rajut yaitu ketika terdapat produk cacat maka akan memberi informasi untuk mematikan mesin. Sehingga masih tetap terdapat produk yang cacat, tetapi hal ini bisa menekan produk cacat karena ketika satu produk cacat ditemukan maka mesin rajut akan langsung mati daripada keadaan sebelumnya yang masih tetap memproduksi produk yang cacat. Evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang diterapkan dalam penelitian ini tidak bisa mencegah terjadinya kegagalan. Tetapi dalam penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) ini, ketika terdapat satu produk cacat, akan langsung teridentifikasi. Sehingga evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang diterapkan di mesin rajut tidak bisa dikatakan sebagai *preventive maintenance*. *Preventive maintenance* yang dilakukan pada TBM masih tetap ada, hal ini dikarenakan *preventive maintenance* digunakan untuk melengkapi adanya evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dimana ketika *preventive maintenance* dilakukan secara optimal maka evaluasi TBM akan berjalan lebih optimal.

Komponen biaya yang ada pada penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) di perusahaan sarung tangan rajut pada mesin rajut tetap mempertimbangkan biaya *preventive maintenance*, biaya *corrective maintenance*, biaya tenaga kerja untuk melakukan perawatan dan konsekuensi karena kegagalan. Terdapat penambahan biaya berupa investasi mesin berupa kamera *webcam*, *personal computer*, biaya instalasi penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dan juga biaya karena pemakaian *monitoring* tiap waktunya.

Penghitungan analisis ekonomi untuk evaluasi TBM (*automatic shutdown*) menggunakan analisis period selama 6 tahun untuk penggunaan kamera *webcam* dan *personal computer*. Penggunaan *present annual worth* untuk biaya *preventive maintenance*, biaya *repair*, konsekuensi kegagalan dan *annual maintenance* dengan menggunakan *discount rate* sebesar 5%. Investasi mesin dilihat dari nilai sekarang (*present worth*) untuk investasi pada kamera *webcam*, *personal computer* dan biaya instalasi.

6.3. Analisis Hasil Perbandingan TBM dan Evaluasi TBM (*Automatic Shutdown*)

Perbandingan analisis menggunakan TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) pada mesin rajut di Pabrik Sarung Tangan Rajut menggunakan analisis period selama 6 tahun menggunakan pertimbangan *economic life* dan *discounting rate* sebesar 5%. Pada Tabel 5.14, perhitungan menggunakan pengaplikasian 77 mesin rajut dengan 77 kamera webcam dan 1 *personal computer* didapatkan hasil penerapan TBM lebih mahal dibandingkan evaluasi TBM (*automatic shutdown*). Selisih biaya yang ada sebesar Rp 22.745.294,37 dengan menggunakan periode selama 6 tahun dan *discounting rate* sebesar 5%. Investasi evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dilakukan pada 77 mesin rajut sebesar Rp29.625.000,00.

Pada Tabel 5.17 merupakan perhitungan biaya produksi untuk TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dimana yang diperhitungkan berupa biaya *preventive, repair, material, labor, production* (penggunaan listrik). Biaya produksi untuk evaluasi TBM (*automatic shutdown*) hampir sama dengan TBM tetapi ditambah dengan biaya instalasi dan investasi mesin dan biaya yang diperlukan untuk operasional *condition monitoring*.

Pada Tabel 5.18 menjelaskan biaya yang dihasilkan perusahaan jika menerapkan TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dimana harga jual sarung tangan baik sebesar Rp 15.000,00 tiap 24 pcs(12 pasang) dan harga jual untuk sarung tangan rajut yang telah diperbaiki (ditsik) sebesar Rp 6.000,00 tiap 24 pcs.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memberikan gambaran secara garis besar dari perumusan masalah, tujuan penelitian dan langkah-langkah penelitian yang telah dilakukan di bab sebelumnya, sehingga didapatkan beberapa kesimpulan dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Banyaknya produk cacat di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR) disebabkan oleh jarum patah yang tidak diketahui sehingga mesin rajut terus memproduksi sarung tangan yang cacat. Evaluasi penerapan TBM mengadaptasi penerapan CBM untuk investasi mesin yang digunakan *monitoring* dimana penerapan CBM mendeteksi sebelum cacat terjadi, tetapi mendeteksi jarum yang patah sangat sulit dilakukan sehingga hal tersebut tidak bisa dilakukan hanya bisa mengurangi jumlah produk cacat. Evaluasi TBM yang diterapkan di Perusahaan Sarung Tangan Rajut (PSTR) untuk mendeteksi jarum yang patah dilakukan dengan melihat adanya produk cacat. Ketika kamera webcam menemukan produk cacat, maka akan langsung ditransfer di *personal computer* menggunakan *image processing* yang selanjutnya memberikan perintah pada mesin rajut untuk menghentikan mesin rajut.
2. Biaya – biaya yang dibutuhkan untuk *time based maintenance* mesin rajut di perusahaan sarung tangan rajut adalah biaya preventive yang dilakukan untuk pemberian oli dan pembersihan menggunakan kompresor, biaya *repair* untuk jarum yang patah, biaya tenaga kerja selama melakukan perawatan dan konsekuensi kegagalan. Sedangkan biaya yang dibutuhkan untuk evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yaitu *capital investment* dan biaya *annual Condition Monitoring*. *Capital investment* yang dibutuhkan adalah investasi kamera webcam, *personal computer* dan biaya instalasi *software*. Biaya investasi hanya ada ketika awal investasi saja untuk selanjutnya tidak ada. Sedangkan untuk *annual Condition Monitoring*, biaya yang dibutuhkan adalah biaya *preventive maintenance*, biaya *repair*, biaya *monitoring* biaya tenaga kerja untuk perawatan dan biaya konsekuensi kegagalan. *Preventive maintenance* tetap dilakukan untuk melengkapi penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) yang ada di perusahaan.
3. Perbandingan biaya antara TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) menggunakan analisis nilai sekarang yang memperhatikan *economic life* dan *discount rate*. Hal ini

dikarenakan adanya investasi mesin yang dilakukan untuk penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*), analisis periode menggunakan jangka waktu *economic life* untuk kamera *webcam* dan *personal computer* selama 6 tahun dan *discount rate* sebesar 5%. Selisih biaya yang ada sebesar Rp 22.745.294,37 dengan menggunakan periode selama 6 tahun dan *discount rate* sebesar 5%. Investasi penerapan evaluasi TBM (*automatic shutdown*) dilakukan pada 77 mesin rajut sebesar Rp 29.625.000,00. Biaya yang lebih rendah untuk CBM cukup menguntungkan. Sedangkan untuk perhitungan biaya produksi TBM dan evaluasi TBM (*automatic shutdown*), nilai sekarang tiap produk baik pada evaluasi TBM (*automatic shutdown*) lebih rendah dari nilai TBM.

7.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Rekomendasi penerapan evaluasi TBM di mesin rajut berupa pemasangan kamera *webcam* dengan menggunakan *image processing* dapat diterapkan di perusahaan untuk keseluruhan mesin rajut dalam upaya mengurangi produk cacat.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan penambahan biaya lain yang lebih detail dengan memperhatikan beberapa faktor lain yang mungkin belum dipertimbangkan dalam penelitian ini.
3. Perusahaan seharusnya melakukan dokumentasi data yang lebih detail sehingga bisa dijadikan analisis untuk perbaikan kedepannya di Perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Shinkar, K. Dashore, S. Majgaonkara, S. F. (2012). Digital Image Encryption Algorithm Based on Multi-Dimensional Chaotic System and Pixels Location, 4(3), 354–357.
- Abou-Taleb, H. A., & Sallam, A. T. M. (2007). On-line fabric defect detection and full control in a circular knitting machine. *Autex Research Journal*, 8(1), 21–29.
- Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012a). A review of condition-based maintenance decision-making. *European J. of Industrial Engineering*, 6(5), 519.
- Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012b). An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application q. *Computers & Industrial Engineering*, 63(1), 135–149.
- Al-najjar, B. (2012). On establishing cost-effective condition-based maintenance.pdf. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(4), 401–416.
- Al-najjar, B., & Alsyouf, I. (2004). Enhancing a company's profitability and competitiveness using integrated vibration-based maintenance: A case study. *European Journal of Operational Research*, 157, 643–657.
- Alaswad, S., & Xiang, Y. (2017). A review on condition-based maintenance optimization models for stochastically deteriorating system. *Reliability Engineering and System Safety*, 157, 54–63.
- Andrawus, J. a, Watson, J., Kishk, M., & Adam, A. (2006). Determining an Appropriate Condition-based Maintenance Strategy for Wind Turbines. *The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment*, 27(November), 1–6. Retrieved from <http://www.jgsee.kmutt.ac.th/see1/cd/file/B-027.pdf>
- Bengtsson, M. (2007). *On Condition Based Maintenance and Its Implementation in Industrial Settings. Malardalen University Press Dissertations.*
- Blank, L., & Tarquin, A. (2005). *Engineering Economy (Seventh Edition).*
- Børresen, C. S. (2011). A framework for cost-benefit analysis on use of condition based maintenance in an IO perspective. Retrieved from <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:no:ntnu:diva-15498>
- Catarino, Andre; Rocha, Ana; Monteiro J.L.; Soares, F. (2002). A system for knitting process monitoring and fault detection on weft circular knitting machines, (June 2014).
- Catarino, A., & Rocha, A. M. (2004). Surveillance and Control of the Yarn Input Tension on Circular Weft Knitting Machines : New Approaches.
- County, D. (2015). Office of the property appraiser, (1330), 1306–1309.
- Do, P., Voisin, A., Levrat, E., & Iung, B. (2015). A proactive condition-based maintenance

strategy with both perfect and imperfect maintenance actions. *Reliability Engineering and System Safety*, 133, 22–32.

Eti, M. C., & Probert, S. D. (2006). Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture, 83(11), 1235–1248.

Gerdes, M., Scholz, D., & Galar, D. (2016). Effects of condition-based maintenance on costs caused by unscheduled maintenance of aircraft. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 22(4), 394–417.

Grall, A. (2016). On the Assessment Assessment of of Performance Performance and the Assessment of Performance and the Assessment of Performance Robustness of of Condition-Based Condition-Based and Robustness Robustness of Robustness of Condition-Based Maintenance Strategi, 12, 809–814.

Grall, A., Dieulle, L., Bérenguer, C., & Roussignol, M. (2002). Continuous-time predictive-maintenance scheduling for a deteriorating system. *IEEE Transactions on Reliability*, 51(2), 141–150. <https://doi.org/10.1109/TR.2002.1011518>

Hartanto, S. (2013). Teknologi Tekstil.

Higgins, Lindley R. & Mobley, R. K. (2002). *Maintenance Engineering Handbook*. United States of America: Hill Companies Inc.

IRO, M. (n.d.). Needle Controller: Advanced technology cuts percentage of second-quality fabric.

Jardine, K.S., Andrew & Tsang, H.C., A. (2013). *Maintenance, Replacement and Reliability* (Second).

Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>

Jonge, B. De, Teunter, R., & Tinga, T. (2017). The influence of practical factors on the benefits of condition-based maintenance maintenance over time-based maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 158(August 2016), 21–30.

Keizer, M. C. A. O., Teunter, R. H., & Veldman, J. (2016). Clustering condition-based maintenance for systems with redundancy and economic dependencies. *European Journal of Operational Research*, 251, 531–540.

Levvit, J. (2002). *Complete guide to preventive and predictive maintenance*. Industrial Press, New York.

Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance*. Industrial Press Inc.

Munnwer, H., Ghullam, M., & Akhtar, H. (2012). Life cycle assessment of Autoliv's Night vision camera. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(1), 498–508.

<https://doi.org/10.6088/ijes.2012030131049>

- Plop, F. (2008). Auxiliary equipments for circular knitting machines, *VII(Xvii)*.
- Rajan, B. S., & Roylance, B. J. (1996). The development of a cost benefit analysis method for monitoring the condition of batch process plant machinery. *Technology Showcase: Integrated Monitoring, Diagnostics and Failure Prevention*, (AD-A325 558), 13.
- Rastegari, A., & Bengtsson, M. (2015a). Cost effectiveness of condition based maintenance in manufacturing. *2015 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, (January), 1–6. <https://doi.org/10.1109/RAMS.2015.7105079>
- Rastegari, A., & Bengtsson, M. (2015b). Implementation of Condition Based Maintenance in manufacturing industry - A pilot case study. *2014 International Conference on Prognostics and Health Management, PHM 2014*, 1–8.
- Reza, M. H. (2013). Analysis of Overall Equipment Efficiency (OEE) of knitting machine varying different operating parameters . Department of Industrial and Production Engineering Bangladesh University of Engineering and Technology.
- Rocha, A., & Soares, F. (2004). A New System for Monitoring and Analysis of the Knitting Process.
- Shin, J., & Jun, H. (2015). On condition based maintenance policy, 2, 119–127.
- Trended, Y., Care, D., & Hammer, J. (2017). Alachua County Property Appraiser 2017 Economic Life Guide, 2017.
- Usher, J. S., Kamal, A. H., & Syed, W. H. (1998). Cost optimal preventive maintenance and replacement scheduling. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 30(12), 1121–1128.
- Verbert, K., Schutter, B. De, & Babu, R. (2017). Timely condition-based maintenance planning for multi-component systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 159(August 2016), 310–321.
- Verma, N. K., Khatravath, S., & Salour, A. (2013). Cost Benefit Analysis for Condition Based Maintenance. *Prognostics and Health Management (PHM), 2013 IEEE Conference on*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICPHM.2013.6621451>
- Wang, W. (2003). Modelling condition monitoring intervals: A hybrid of simulation and analytical approaches., 54(3), 273–282.
- Wang, W. (2007). Condition-based Maintenance Modelling. *University of Salford Manchester*, 1–22.
- Wi, H. (2013). Evaluating Defects of Bridge Element Using an Image Processing Approach, (August).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri, 12 Mei 1993 dengan nama lengkap Nisa Isrofi merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menumpuh pendidikan formal dasar yaitu SDI AL- HUDA Kediri, SMPN1 Kediri, SMAN 2 Kediri. Kemudian pada tahun 2011 penulis menempuh pendidikan S1 Jurusan Teknik Industri di Universitas Surabaya dengan konsentrasi Rekayasa Sistem Industri melalui jurusan SNMPTN tulis dan lulus Sarjana Strata 1 pada tahun 2015. Setelah lulus sarjana, penulis memutuskan melanjutkan studi di Program Pascasarjana, bidang konsentrasi Manajemen Kualitas dan Manufaktur, Jurusan Teknik Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (FTI-ITS) pada periode 2016 ganjil. Pada tahun 2018, penulis telah berhasil menyelesaikan syarat terakhir untuk mendapatkan gelar Magister Teknik (MT) dengan penelitian berjudul “Evaluasi *Time based Maintenance* (TBM) dalam Rangka Menurunkan Biaya *Maintenance*”. Penulis dapat dihubungi melalui email nisa.isrofi@gmail.com.